



Chem

Bunsen

50 v

GASOMETRISCHE
M E T H O D E N.



Holzschnitte
aus dem xylographischen Atelier
von Friedrich Vieweg und Sohn
in Braunschweig.

Papier
aus der mechanischen Papier-Fabrik
der Gebrüder Vieweg zu Wendhausen
bei Braunschweig.



GASOMETRISCHE
M E T H O D E N

VON

ROBERT BUNSEN.

MIT 60 IN DEN TEXT EINGEDRUCKTEN HOLZSCHNITTEN.

BRAUNSCHWEIG,

DRUCK UND VERLAG VON FRIEDRICH VIEWEG UND SOHN.

1 8 5 7.

146 = H.



Die Herausgabe einer Uebersetzung in englischer, französischer und
anderen modernen Sprachen wird vorbehalten.



V o r w o r t.

Es lag ursprünglich nur in der Absicht des Verfassers der vorliegenden Schrift, die in seinen Arbeiten zerstreuten gasometrischen Methoden übersichtlich zusammenzustellen und dadurch dem Gebrauche zugänglicher zu machen. Bei der Ausführung dieses Planes stellte sich indessen sehr bald das Bedürfniss heraus, manche der zunächst nur auf specielle Fälle berechneten Verfahrensarten durch grössere Verallgemeinerung in einem weiteren Umfange nutzbar zu machen. Dies führte zu einer Reihe zum Theil sehr langwieriger Experimentaluntersuchungen, deren detaillirtere Mittheilung nicht umgangen werden konnte, da ohne sie eine wissenschaftliche Begründung der beschriebenen Methoden unmöglich war. Die sonst so beschränkten Mittel der Gasanalyse dürften dadurch noch manche nicht unerhebliche Bereiche-

rung erfahren haben. Zu den drei Gleichungen, welche der Verfasser benutzt hat, um das unbekannte Mengenverhältniss dreier brennbarer Gase von bekannter Zusammensetzung zu berechnen, und von denen die später von Reiset und Regnault in ihrer trefflichen Respirationsarbeit aufgestellten Formeln nur abgeleitete Fälle sind, ist noch eine vierte vom Wasserdampfvolumen des verbrannten Wasserstoffs hergenommene Gleichung hinzugekommen. Es ist dadurch ein Mittel gewonnen, nicht allein die unbekannte Zusammensetzung und die Verdichtungsverhältnisse eines brennbaren, aus vier Elementen bestehenden Gases, sondern auch das unbekannte Mengenverhältniss von vier bekannten Gasen durch eine einzige Verbrennungsanalyse zu bestimmen. Durch dieses Hilfsmittel und die am Ende des zweiten Abschnittes benutzte Verbindung der Absorptionsanalyse mit der Verbrennungsanalyse lassen sich nunmehr noch Gemische ohne Schwierigkeit analysiren, welche zehn Gemengtheile, und unter diesen, sieben brennbare enthalten können.

Im vierten Abschnitte, der von der Gasabsorption handelt, hat der Verfasser gezeigt, dass der alten Henry'schen Hypothese, die mit den Ergebnissen aller bisherigen Versuche in völligem Widerspruche stand, ein wirkliches Gesetz zum

Grunde liegt, das sich in aller Schärfe zu erkennen giebt, wenn man auf die bei den bisherigen Untersuchungen über diesen Gegenstand unbeachtet gebliebene Thatsache Rücksicht nimmt, dass die Werthe der Absorptionscoëfficienten nicht von der Substanz allein, sondern zugleich auch, und oft mehr noch, von der Temperatur abhängig sind. Die absorptiometrische Methode, welche sich auf dieses Gesetz gründet, dürfte insbesondere als Erkennungsmittel gemengter Gase eine immer größere Bedeutung gewinnen, wenn erst die Absorptionscoëfficienten für eine erheblichere Zahl von Gasen und Flüssigkeiten ermittelt sein werden. Gegenüber dem umfangreichen Material, welches in dieser Beziehung der Bearbeitung noch vorliegt, wird es daher auch hoffentlich dem Verfasser nicht zum Vorwurf gereichen, dass er die Methoden zur Bestimmung dieser Coëfficienten mit besonderer Ausführlichkeit behandelt hat.

Heidelberg im März 1857.

Robert Bunsen.

I n h a l t.

	Seite
Erster Abschnitt. Aufsammeln, Aufbewahren und Messen der Gase	1
Zweiter Abschnitt. Gasometrische Analyse	46
1. Stickstoff	63
2. Sauerstoff	71
3. Kohlensäure	86
4. Schwefelwasserstoff	90
5. Schwefelige Säure	94
6. Chlorwasserstoffsäure	96
7. Wasserstoff	97
8. Kohlenoxydgas	100
9. Grubengas	105
10. Oelbildendes Gas (Elayl)	109
11. Ditetrylgas	113
12. Aethyl	120
Dritter Abschnitt. Specifisches Gewicht der Gase	122
Vierter Abschnitt. Absorptionserscheinungen der Gase	136
1. Stickstoff in Wasser	153
2. Stickstoff in Alkohol	153
3. Wasserstoff in Wasser	154
4. Wasserstoff in Alkohol	154
5. Aethyl in Wasser	155
6. Kohlenoxyd in Wasser	155
7. Kohlenoxyd in Alkohol	156
8. Grubengas in Wasser	157
9. Grubengas in Alkohol	158

	Seite
10. Methyl in Wasser	159
11. Oelbildendes Gas in Wasser	160
12. Oelbildendes Gas in Alkohol	161
13. Kohlensäure in Wasser	161
14. Kohlensäure in Alkohol	162
15. Sauerstoff in Wasser	163
16. Sauerstoff in Alkohol	167
17. Stickoxydul in Wasser	168
18. Stickoxydul in Alkohol	169
19. Stickoxyd in Alkohol	169
20. Schwefelwasserstoff in Alkohol	170
21. Schwefelwasserstoff in Wasser	172
22. Schwefelige Säure in Alkohol	173
23. Schwefelige Säure in Wasser	177
24. Ammoniak in Wasser	178
25. Atmosphärische Luft im Wasser	182
Fünfter Abschnitt. Diffusion der Gase	209
Sechster Abschnitt. Verbrennungserscheinungen der Gase . .	247
Anhang. Tafeln zur Berechnung der Analysen	275
I. Tafel der Tension des Wasserdampfes für die Temperaturen von -2° bis $+30^{\circ}$ C., nach Regnault	277
II. Tafel für die Werthe von $1 + 0.00366 t$	280
III. Tafel der Tension des Dampfes von absolutem Alkohol, nach Regnault	286
IV. Tafel zur Reduction der Barometerablesungen an gläserner Scale auf 0° C.	288
V. Tafel der specifischen Gewichte und Volumenzusammensetzung der Gase	295
Tabelle zur Reduction von Wasserdruck auf Quecksilberdruck	297
VI. Tafel der Absorptionscoëfficienten verschiedener Gase für Wasser und Alkohol	298
VI. Tafel zur Berechnung des Volumengehaltes der atmosphärischen Luft an Stickstoff und Sauerstoff	302
VIII. Tafel zur Berechnung des Gewichtes von Gasen aus dem Volumen derselben	302

Erster Abschnitt.

Aufsammeln, Aufbewahren und Messen der Gase.

Das Aufsammeln und Aufbewahren von Gasen gehört zu den wichtigsten Operationen der gasometrischen Analyse. Es bieten sich dabei oft Schwierigkeiten dar, die nur schwer zu überwinden sind und besondere Vorsichtsmaassregeln nöthig machen. Im Allgemeinen wählt man zur Aufnahme des Gases Glasgefässe von geringer Grösse, welche mit Wasser, Quecksilber oder Luft, die man durch das aufzufangende Gas verdrängt, gefüllt sind. Von diesen drei Flüssigkeiten findet das Wasser die beschränkteste Anwendung. Es treten darin Erscheinungen der Diffusion und Absorption auf, in Folge deren wandelbare Mengen von atmosphärischer Kohlensäure, von Sauerstoff und Stickstoff in das abgesperrte Gas übertreten, während dieses selbst, je nach der wechselnden Löslichkeit, Mischung und Pressung seiner Gemengtheile, in das Wasser eindringt und dadurch seinerseits eine Veränderung erleidet, die sich nicht nur auf die absolute Menge, sondern auch auf das gegenseitige Verhältniss der Gemengtheile erstreckt. Je grösser das Volu-

men und die absorbirende Oberfläche des Wassers im Verhältniss zur abgesperrten Gasmasse wird, um so beträchtlicher ist die Verunreinigung, welche man zu befürchten hat. Nur wo Gase von constanter Zusammensetzung eine Wassermasse anhaltend durchströmen, ist man diesen Fehlerquellen nicht ausgesetzt. Dies ist namentlich in vielen gasreichen Wasserquellen der Fall, deren freie und absorbirte Gase sich bereits zu einander in ein statisches Gleichgewicht gesetzt haben. Um aus solchen Wasserquellen, die dem Beobachter unmittelbar zugänglich sind, das Gas zu gewinnen, bedient man sich des kleinen, Fig. 1 abgebildeten Apparates. Derselbe

Fig. 1.



besteht aus einem 40 bis 60 CC. fassenden Probirröhrchen *c*, das bei *a* zur Weite eines dünnen Strohhalmes vor der Glasbläserlampe ausgezogen ist und mittelst eines gut schliessenden Korkes oder eines Röhrenstückes von vulcanisirtem Kautschuk mit dem Trichter *b* luftdicht verbunden wird. Statt des Probirröhrchens lässt sich auch eine kleine langhalsige Arzneiflasche benutzen, die man vor der Glasbläserlampe in der Mitte des Halses mit einer ähnlichen strohhalmsticken Verengung versehen hat. Man füllt den Apparat zunächst mit dem Wasser der Quelle an. Da dies nicht ohne Luftzutritt geschehen kann, wodurch die Zusammensetzung des im eingefüllten Quellwasser diffundirten Gases geändert werden würde, so taucht man den mit der Trichtermündung nach oben gekehrten Apparat unter

den Quellenspiegel ein und saugt vermittelst einer bis auf den Boden des Probirröhrchens reichenden engen Röhre das bei der ersten Füllung mit Luft in Berührung gewesene Wasser so lange auf, bis man überzeugt sein kann, es durch anderes Wasser aus der Quelle ersetzt zu haben. Lässt man dann das Quellengas durch den Trichter in das so gefüllte Probirröhrchen aufsteigen, so ist man vor jeder Verunreinigung desselben gesichert. Werden die aufsteigenden Blasen in dem Trichterhalse oder unter der Verengung *a* zurückgehalten, so kann man sie leicht durch Klopfen des Trichterrandes gegen eine harte Unterlage zum Aufsteigen bringen.

Nachdem der Apparat in einer kleinen Schaale aus der Quelle entfernt ist, schmilzt man das Röhrchen bei *a* ab, was ohne Schwierigkeit mit der Löthrohrflamme geschehen kann, mittelst deren man zugleich die Feuchtigkeit an der abzuschmelzenden Stelle durch Erwärmen vorher entfernt. Da die im Trichter über dem Niveau der Schaale emporragende Wassersäule den Druck

Fig. 2.



des Gases gegen den der Atmosphäre verringert, so hat man ein Aufblasen des Glases an der abzuschmelzenden Stelle nicht zu befürchten. Um beide Hände bei dem Abschmelzen frei zu behalten, bedient man sich des Fig. 2 abgebildeten Löthrohres. Das kleine, als Lampe dienende Gefäß *a* fasst nur ungefähr 3 Grm. Oel und ist mittelst einer kleinen Hülse *b*, durch welche die

Löthrohrspitze gesteckt wird, mit dieser durch einen etwas biegsamen Draht verbunden. Durch geringes Biegen dieses Drahtes gelangt man leicht dahin, der Löthrohrflamme bei dem Blasen die gehörige Lage und Beschaffenheit zu geben. Der Kork *c* dient als Mundstück, um den ganzen Apparat mit den Zähnen allein halten und regieren zu können. Man hat auf diese Weise den Vortheil, die Flamme in jedem Augenblick horizontal, vertical oder transversal richten zu können, da die Stellung der Löthrohrspitze zur Lampe in jeder dieser Lagen dieselbe bleibt, wie man auch das kleine Instrument halten mag.

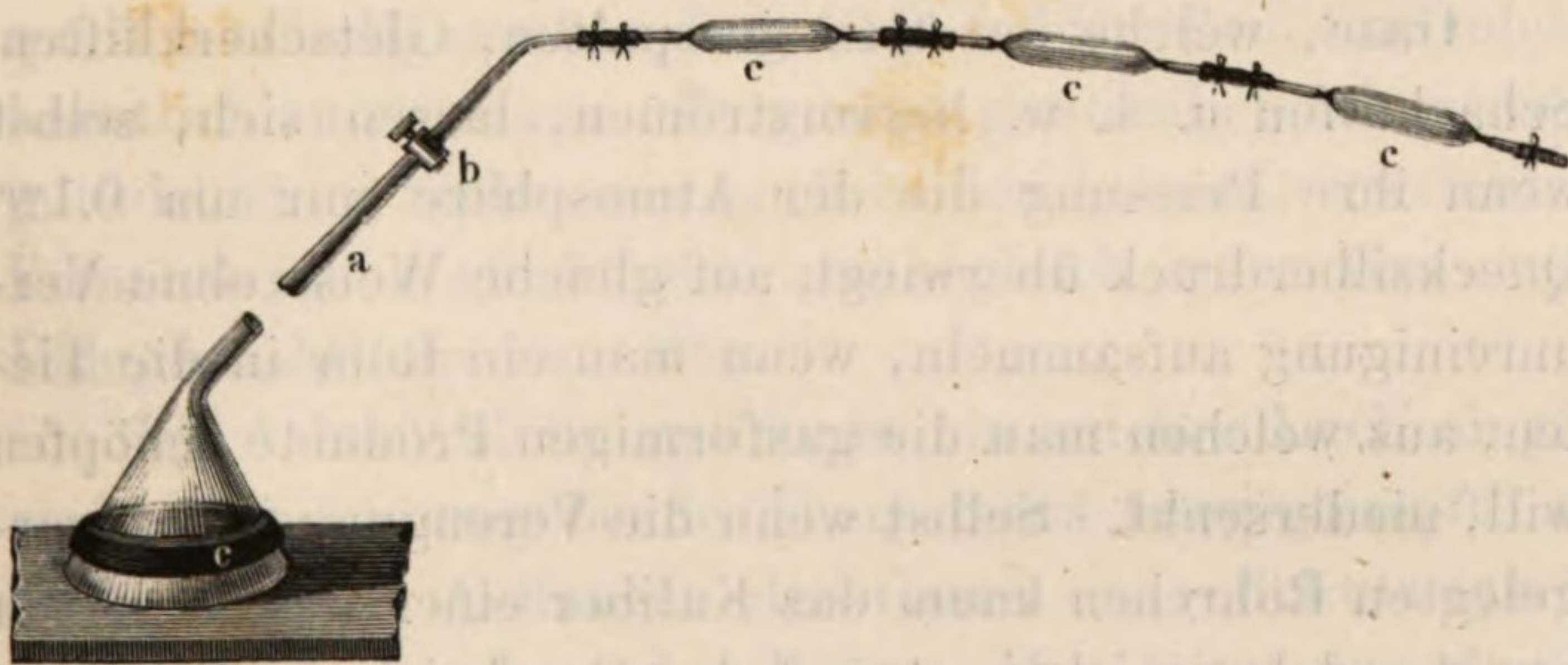
In Ermangelung der kleinen ausgezogenen Gefässe lassen sich zur Noth auch gewöhnliche Arzneiflaschen anwenden, die auf die eben beschriebene Weise gefüllt werden. Man entfernt den Trichter unter dem Niveau der Quelle und ersetzt ihn durch einen befeuchteten gesunden, gut schliessenden Kork, der mit einer ebenfalls befeuchteten dünnen Kautschukplatte überzogen ist. Dabei wird der Verschluss unter dem Wasser so bewerkstelligt, dass keine Flüssigkeit über dem Korke zurückbleibt. Schneidet man den letzteren dicht über dem Halse des Gefässes ab, und überzieht man ihn, nachdem er sorgfältig abgetrocknet ist, mit einer Schicht möglichst feinen Siegellacks, so ist keine Luftverunreinigung möglich, wenn nicht anders der Siegellacküberzug durch Erschütterungen oder raschen Temperaturwechsel Risse erhält.

Auch Gase, die aus Kraterseen, Geisirn oder Kochquellen entweichen, lassen sich gewöhnlich mittelst des beschriebenen Verfahrens auffangen; nur wird es dabei oft nöthig, den kleinen Apparat an einem längeren Stabe zu befestigen, um nicht von den in solchen Quellen

fast nie fehlenden periodischen Dampferuptionen zu sehr in der Nähe belästigt zu werden. Wird das Gas in solchen heißen Quellen unter der Röhrenverengung *a* zurückgehalten, so dass es sich im Trichter, ohne aufzusteigen, ansammelt, so treibt man es leicht dadurch empor, dass man den Apparat abwechselnd in das heiße Wasser eintaucht und wieder in die kältere Luft emporzieht. Die bei dem Eintauchen durch die Erhitzung ausgedehnte Luft treibt dann eine kleine Menge Wasser durch die Röhrenverengung und saugt dafür bei der Abkühlung in der Luft eine entsprechende Menge Gas auf.

Häufig sind Quellen, besonders in vulcanischen Districten, so unzugänglich oder in so heftigem Sieden und Aufwallen begriffen, dass sich der Quellenspiegel nicht unmittelbar erreichen lässt. Man wendet dann den Apparat Fig. 3 an, der auch zum Aufsammeln von Gasen

Fig. 3



aus dem Bodenschlamme natürlicher Gewässer dienen kann. Er besteht aus einem mit dem Bleigewicht *c* beschwerten Trichter, von dessen Stiele ein mittelst vulcanisirten Kautschuks befestigtes Zinnrohr *a* ausläuft, mit welchem hinter dem Hahn *b* die Sammelröhrchen *ccc* verbunden sind. Ist der Apparat in die Quelle gesenkt und durch Aussaugen der Luft bis zum Hahn *b* mit Wasser gefüllt,

so lässt man das aufzufangende Gas in den Trichter so lange aufsteigen, bis es sich unter einer den Atmosphärendruck überwiegenden Pressung befindet. Man öffnet sodann den Hahn *b* und lässt dasselbe durch die Sammelröhren *ccc* so lange strömen, bis man überzeugt sein kann, dass alle atmosphärische Luft verdrängt ist. Die 40 bis 60 CC. fassenden Röhrchen, deren ausgezogene Enden an der zum Abschmelzen bestimmten Stelle etwas verdickt und verengt sind und deren man drei bis vier zugleich anwenden kann, sind durch Röhren von vulcanisirtem Kautschuk luftdicht mit einander verbunden. Sie werden, nach vorgängiger Erwärmung, an der ersten und letzten Kautschukverbindung durch einfaches Zusammendrücken mit den Fingern luftdicht verschlossen, und endlich, sobald ihre Temperatur wieder so weit gesunken ist, dass der äussere Luftdruck den inneren ein wenig überwiegt, der Reihe nach abgeschmolzen.

Gase, welche aus Gesteinsspalten, Gletscherklüften, Schachtöfen u. s. w. hervorströmen, lassen sich, selbst wenn ihre Pressung die der Atmosphäre nur um 0.1^{mm} Quecksilberdruck überwiegt, auf gleiche Weise ohne Verunreinigung aufsammeln, wenn man ein Rohr in die Tiefen, aus welchen man die gasförmigen Producte schöpfen will, niedersenkt. Selbst wenn die Verengungen der vorgelegten Röhrchen kaum das Kaliber einer gewöhnlichen Stricknadel erreichen, strömt das Gas bei jener Pressung noch leicht und rasch hindurch.

Noch leichter geschieht dies bei Gasen, die mit Wasserdampfstrahlen von bedeutender Pressung zu Tage kommen, wie man solche an den Spalten und auf den Solfataren- und Fumarolenfeldern thätiger Vulcane oft in dem grossartigsten Maassstabe antrifft.

Wo, wie oft in vulcanischen Gegenden, grosse Dampf-

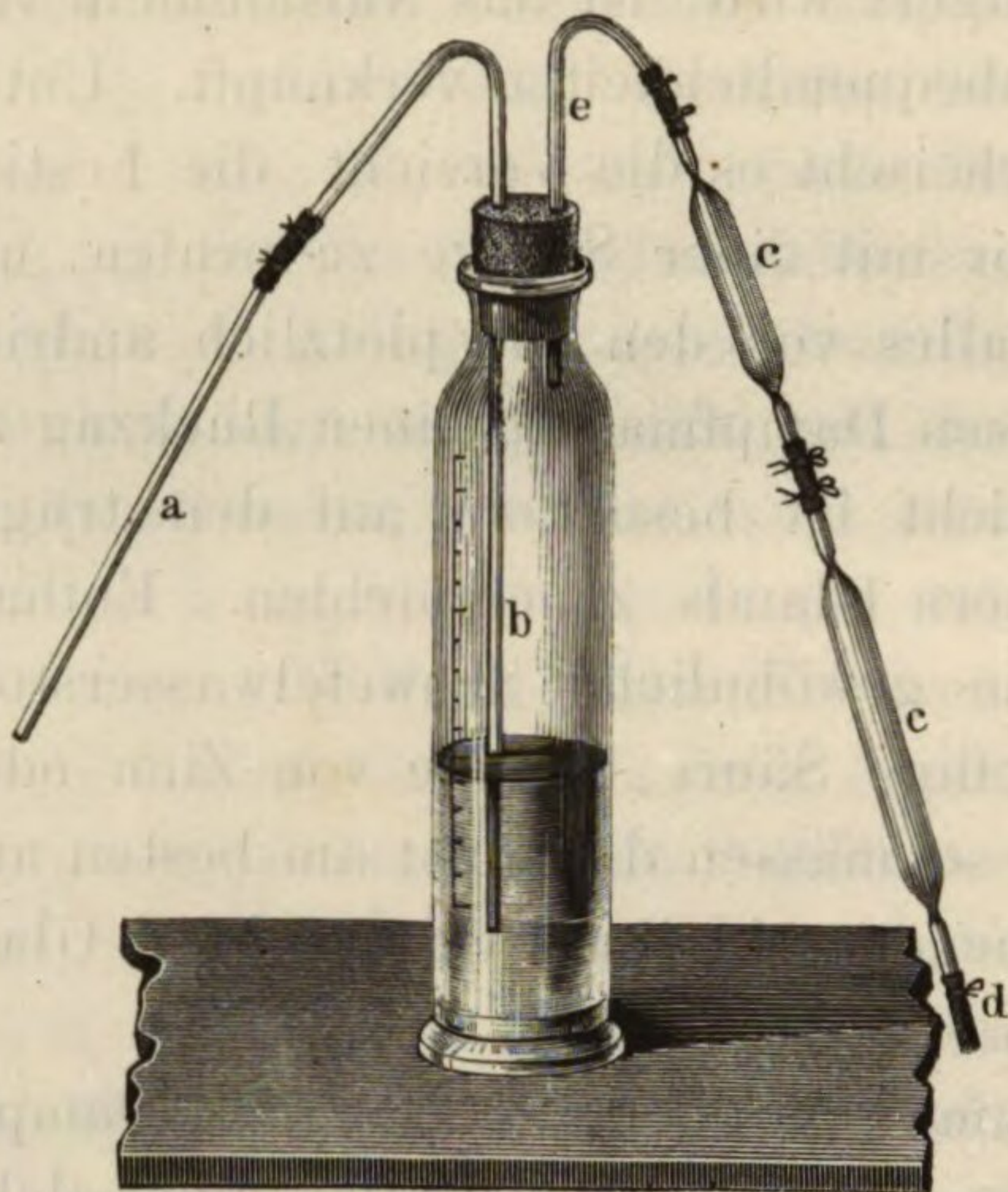
massen abwechselnd mit kochendem Wasser aus Oeffnungen hervorgeschleudert werden, und der umliegende, siedend heisse Schlamm Boden nur von einer dünn erhärteten Thonkruste überlagert wird, ist das Aufsammeln von Gasen mit grossen Unbequemlichkeiten verknüpft. Unter solchen Umständen erheischt es die Vorsicht, die Festigkeit des Grundes zuvor mit einer Stange zu prüfen, um sich erforderlichen Falles vor den oft plötzlich andringenden, siedend heissen Dampfmassen einen Rückzug zu sichern. Diese Vorsicht ist besonders auf den trügerischen Solfatarenfeldern Islands zu empfehlen. Enthalten solche Gase, wie gewöhnlich, Schwefelwasserstoff, Salzsäure oder schweflige Säure, welche von Zinn oder Blei zersetzt werden, so müssen die sonst am besten aus diesen Metallen bestehenden Ableitungsröhren durch Glasröhren ersetzt werden.

Lässt sich keine zum Experimentiren geeignete Dampfquelle ausfindig machen, so gelingt es bisweilen, eine solche künstlich zu erzeugen. Es genügt gewöhnlich schon, vermittelst eines Stabes ein Loch in den heissen, erweichten Fumarolenthon zu stossen, um sogleich einen Gas- und Dampfstrahl hervorzurufen.

Wird das Ableitungrohr in ein solches Loch eingesenkt und der umgebende Thon daran festgestampft, so lässt sich das Auffangen des Gases ohne Schwierigkeit auf folgende Art bewerkstelligen. Man leitet den durch das eingestampfte Rohr *a*, Fig. 4 (a. f. S.), abgeleiteten Dampfstrom in den getheilten und kalibrierten Glascylinder *b*, der zur Hälfte mit Wasser angefüllt ist. Die Dämpfe werden dann durch dies möglichst kalt erhaltene Wasser völlig condensirt, während das mitgeführte Gas, sobald das Wasser damit gesättigt ist, seine Zusammensetzung unverändert beibehält und die Luft aus dem Cy-

linder und den bei *d* unter Wasser mündenden Sammelröhren *cc* verdrängt. Nicht selten kommt es vor, dass

Fig. 4.



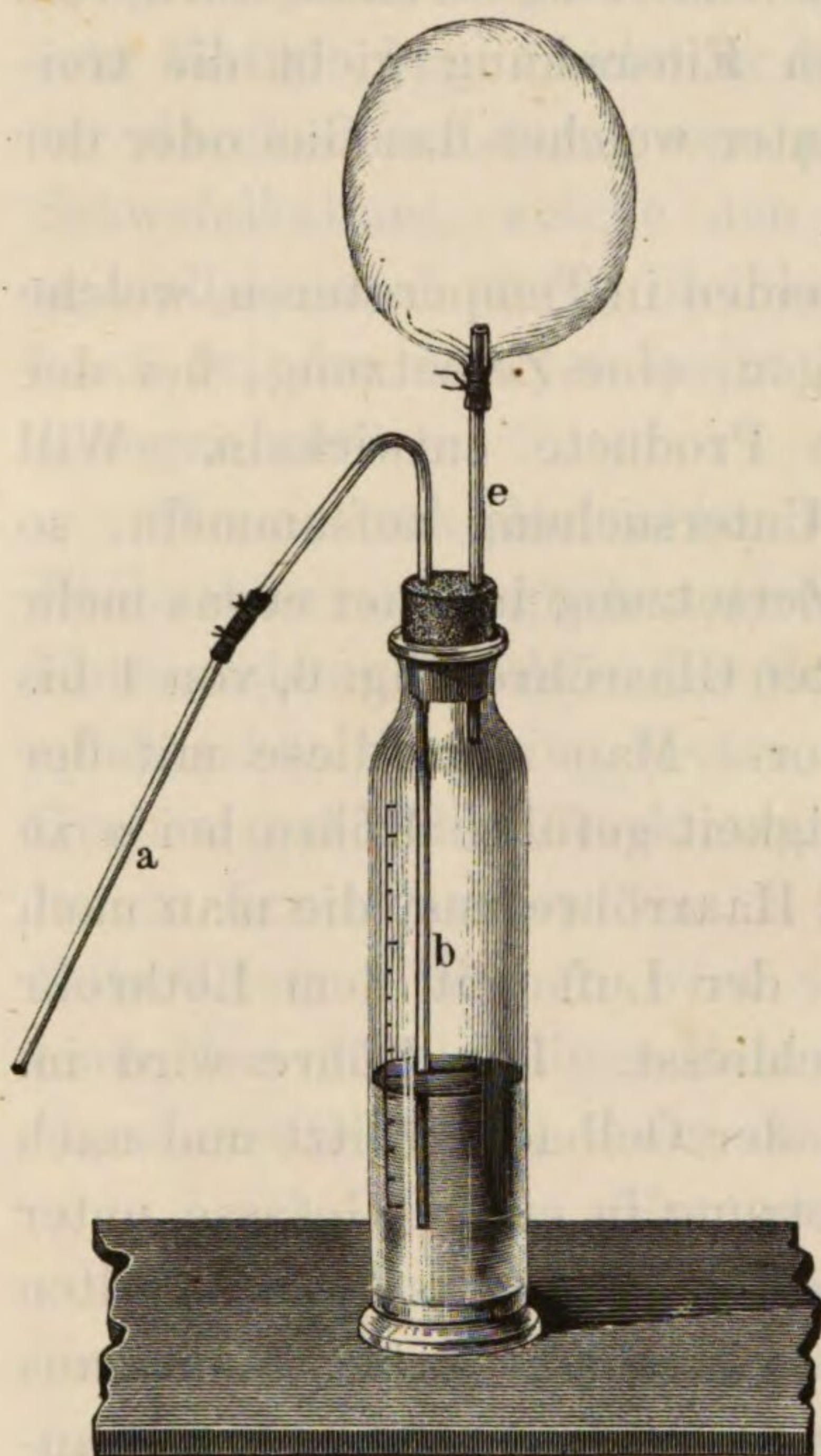
das Volumen der permanenten Gase gegen das der Dämpfe sehr zurücktritt und die Sperrflüssigkeit schon durch die eingeleiteten Dämpfe ins Kochengeräth, bevor die in dem Apparate befindliche Luft durch das zugeführte geringe Gasvolumen völlig verdrängt ist.

In diesem Falle bleibt nichts übrig, als den ganzen Apparat mit Wasser anzufüllen, welches zuvor mit dem aufzufangenden Gase durch Einleiten des Dampfstromes gesättigt worden. Auf diese Weise kann man meistens die gegen den Boden geneigten Sammelröhrchen völlig mit dem Gase angefüllt erhalten, ehe die Sperrflüssigkeit ins Kochengeräth. Es ist dann kaum nöthig, das Gas noch eine Zeit lang durch das Röhrensystem streichen zu lassen, bevor man dasselbe mit dem Löthrohr abschmilzt.

Zur Lösung nicht unwichtiger Fragen über die Theorie der vulcanischen Erscheinungen ist es von grossem Interesse, das Volumenverhältniss vulcanischer Gase zu den gleichzeitig mit denselben hervordringenden Wasserdämpfen annähernd zu schätzen. Man wendet dazu gleichfalls den Apparat Fig. 5 an. Derselbe wird bis zu einer

gewissen Höhe mit kaltem Wasser angefüllt, unter dessen Oberfläche das Dampfzuleitungsrohr, einige Millimeter

Fig. 5.



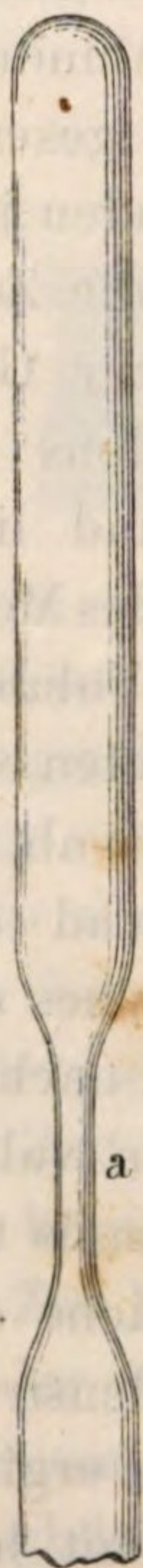
tief, mündet. An dem Ableitungsrohr *e* befindet sich statt der Sammelröhrchen ein starker, aus Collodium gefertigter Ballon von bekanntem Inhalt, Fig. 5, welcher luftdicht aufgesteckt wird. Sobald man das Zuleitungsrohr mit der in die Mündung der Dampfquelle gesenkten Röhre verbunden hat, beobachtet man die Zeitdauer, welche zur Gasfüllung des Ballons erforderlich ist, und liest an der Theilung des Messcylinders *b* das Volumen des wieder erkalteten condensirten Wassers ab, indem man während der Dauer des Versuches das

die Dämpfe und Gase zuführende Rohr nach und nach so weit aus einer dasselbe luftdicht umschliessenden vulcanisirten Kautschukröhre emporzieht, dass es niemals tiefer als einige Millimeter unter der Wasseroberfläche des Cylinders *b* mündet. Aus dem Volumen des condensirten Wassers und aus dem im Ballon gemessenen Gase ergibt sich dann das gegenseitige Verhältniss beider mit hinlänglicher Annäherung. Um zugleich die Pressung des entweichenden Dampf- und Gasstromes zu ermitteln, darf

man nur das frei in die offene Dampfquellenmündung gesenkte Zuleitungsrohr in die zum Kochen erhitzte Sperrflüssigkeit des Cylinders bis zu dem Punkte untertauchen, wo die Gasblasen durch das Wasser zu strömen aufhören. Die Tiefe der beobachteten Einsenkung giebt die treibende Druckdifferenz an, unter welcher das Gas oder der Dampf ausströmt.

Viele Flüssigkeiten erleiden in Temperaturen, welche über ihrem Kochpunkte liegen, eine Zersetzung, bei der

Fig. 6.

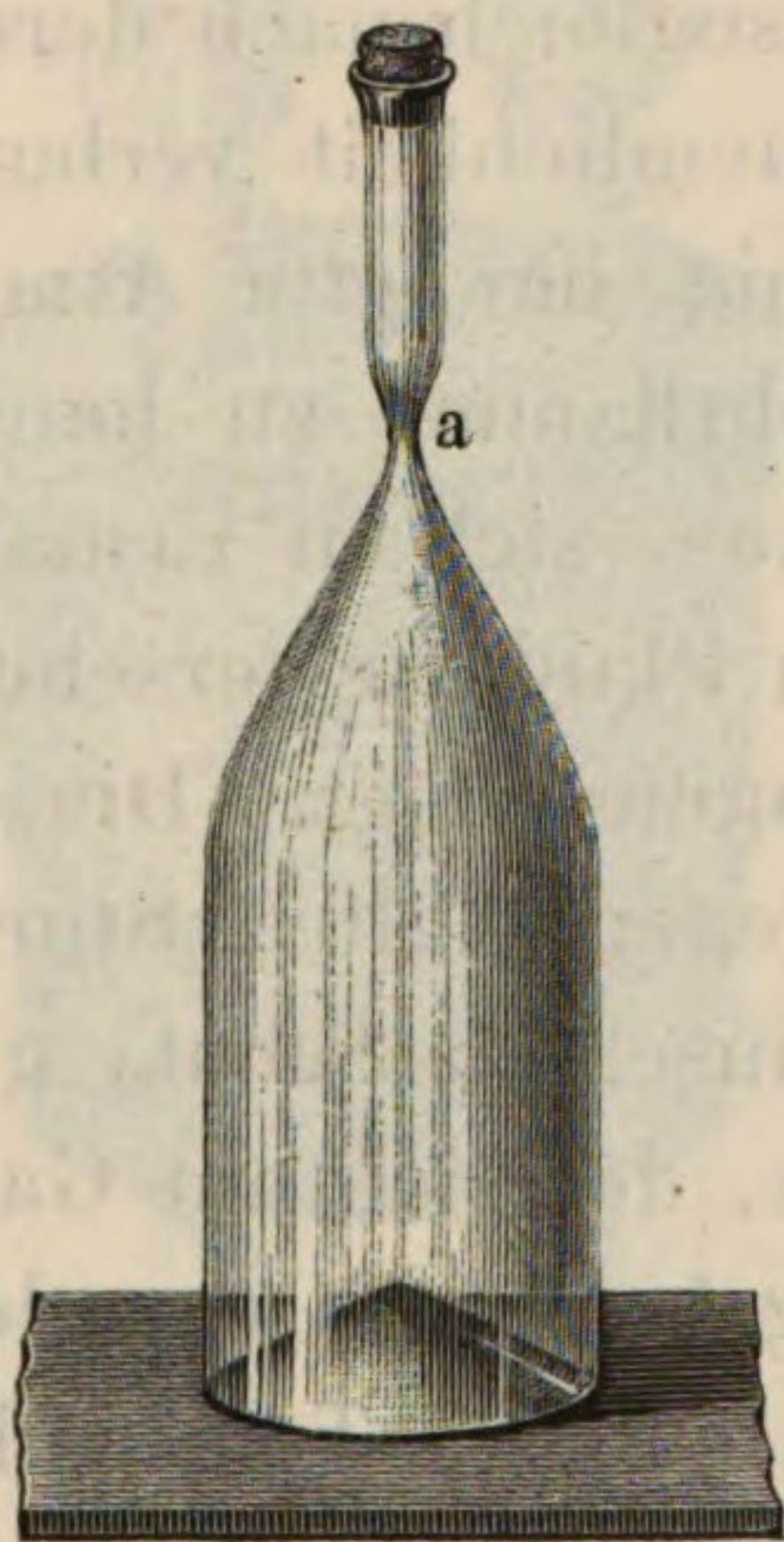


sich gasförmige Producte entwickeln. Will man diese zur Untersuchung aufsammeln, so nimmt man die Zersetzung in einer etwas mehr als federkielweiten Glasröhre, Fig. 6, von 1 bis 2^{mm} Glasdicke vor. Man zieht diese mit der Zersetzungsflüssigkeit gefüllte Röhre bei *a* zu einer verdickten Haarröhre aus, die man nach dem Austreiben der Luft mit dem Löthrohr hermetisch verschliesst. Die Röhre wird im Wasser-, Luft- oder Oelbade erhitzt und nach beendigter Zersetzung in einem Gefässe unter einer mit Wasser oder Quecksilber gefüllten Glocke geöffnet. Das Gas dringt dann aus dem Haarröhrchen in einem feinen, langandauernden Strome hervor. Es hängt das Gelingen dieser Operation wesentlich von der Feinheit und Länge der ausgezogenen Haarröhre ab. Ist diese so weit, dass das comprimte Gas sehr rasch entweichen kann, so wird das Rohr bei dem Oeffnen, wahrscheinlich in Folge eines Stosses der sich plötzlich ausdehnenden Gase, fast jedesmal zertrümmert. Wendet man Wasser als Sperrflüssigkeit an, so muss auf die dadurch bewirkte Luftverunreinigung bei

der Analyse später Rücksicht genommen werden. Wenn das Gas Elayl, Methyl, Aethyl oder ähnliche Substanzen enthält, so ist die durch Diffusion aus einer solchen wässerigen Sperrflüssigkeit bedingte Sauerstoffverunreinigung sehr lästig. Man ersetzt in diesem Falle das reine Wasser durch eine Lösung von pyrogallussaurem Kali oder Schwefelkalium, welche den Sauerstoff aufnimmt. Die nun allein noch übrig bleibende Stickstoffverunreinigung kann bei der Analyse leicht bestimmt und in Rechnung gezogen werden.

Wo es sich darum handelt, Gase an offenen, dem Beobachter zugänglichen Orten zu schöpfen, wie es bei Untersuchungen über die Zusammensetzung der atmosphärischen Luft im Freien oder bei Gasgemengen in Gruben und Höhlen vorkommt, bedient man sich gewöhnlicher Arzneiflaschen von 2 bis 16 Unzen Inhalt. Der Hals dieser Flaschen wird vor der Glasbläserlampe in einer dreiviertelzölligen Entfernung von seiner Mündung etwas verdickt und dann zu einer ungefähr 2^{mm} weiten

Fig. 7.



Verengung *a*, Fig. 7, ausgezogen. Um das Ausziehen zu bewerkstelligen, muss man mit der Erhitzung da beginnen, wo der Bauch des Glases in den Hals übergeht. Bringt man den letzteren sogleich in die Flamme, so springt er fast immer ab. Da sich der Hals beim Ausziehen in der Flamme so stark erhitzt, dass er sich nicht mit der Hand halten lässt, so fasst man denselben mit einer hinter seinen Rand geklemmten eisernen Zange, Fig. 8 (a. f. S.). Um die Flasche mit Gas

zu füllen, wird die darin befindliche Luft vermittelst einer engen, bis auf den Boden eingesenkten Glasröhre so lange ausgesogen, bis man überzeugt sein kann, dass sie durch

Fig. 8. andere, von aussen nachdringende völlig ersetzt ist. Fünf bis sechs volle Athemzüge sind dazu mehr als hinreichend. Es versteht sich von selbst, dass man sich jedes Mal bei dem Ausathmen der aufgesaugten Luft von der Stelle entfernen muss, an welcher das Gas gesammelt werden soll.



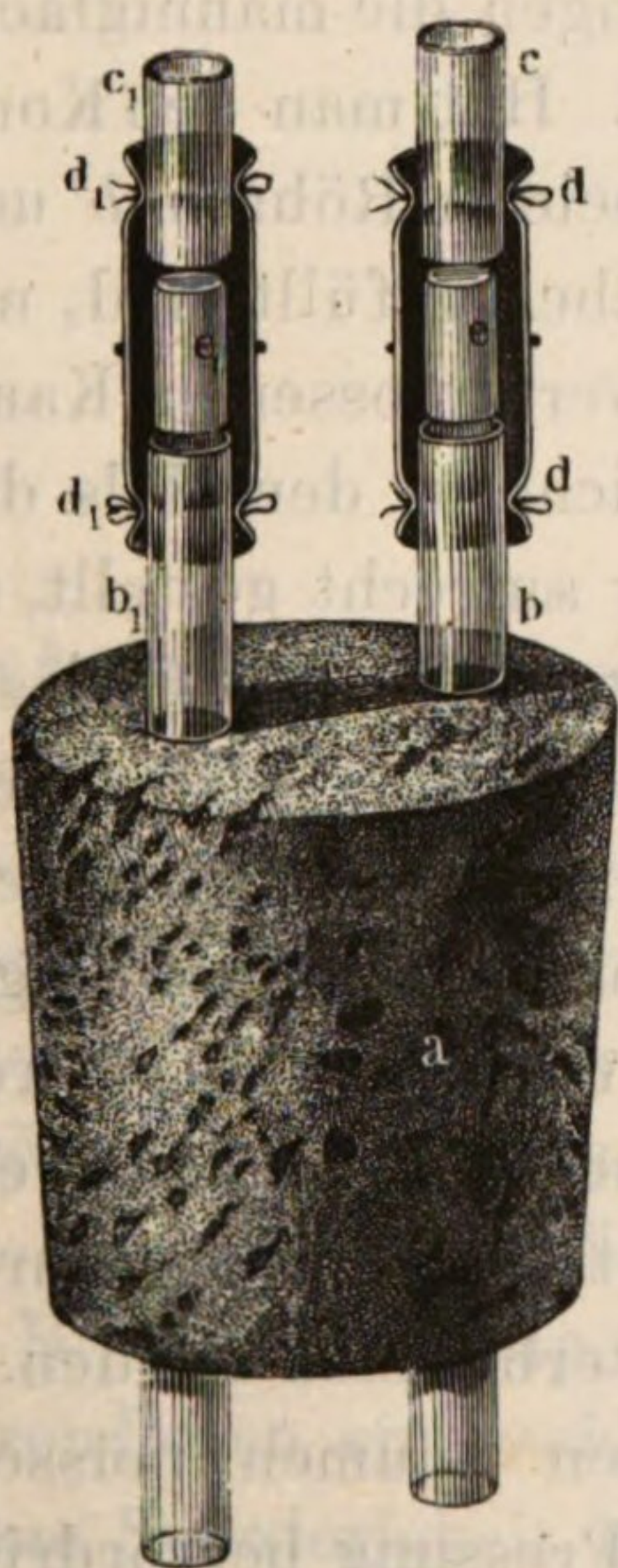
Das mit einem luftdichten Kork verschlossene Glas wird darauf über der Spirituslampe etwas erwärmt und das Gleichgewicht der inneren ausgedehnten Luft mit der äusseren durch vorsichtiges Lüften des Korks wieder hergestellt. Die darauf nach dem Erkalten eintretende geringere Pressung im Inneren des Gefässes verhindert ein Aufblasen des Glases bei dem Abschmelzen des verengten Halses.

Wenn man auf hohen Bergen oder in sonst schwer zugänglichen Gegenden Gase zu sammeln hat, ist das Zuschmelzen der Gefässe, welches stets sogleich nach deren Füllung geschehen muss, mit Unbequemlichkeit verbunden, da es im Freien schon bei wenig bewegter Atmosphäre unmöglich wird, eine Löthrohrflamme zu handhaben. Für solche Fälle reicht es aus, sich in Ermangelung eines Zeltes mit einem grossen Plaid zu versehen, wie man es auf Gebirgsreisen zu tragen pflegt. Dieser einfache Ueberwurf, welcher auch gegen Kälte, Sturm und Regen erforderlichen Falles erwünschten Schutz gewähren kann, ist Jedem zu empfehlen, der sich mit Gasuntersuchungen in unbewohnten und gebirgigen Gegenden zu beschäftigen hat. Wenn man ein solches Tuch zeltartig an der Erde über sich ausbreitet und seine Ränder

mit Steinen beschwert, um den Luftzug abzuhalten, lassen sich alle Operationen, zu denen man einer Lichtflamme bedarf, selbst bei Sturm und Unwetter im Freien ausführen. Nur auf diese Weise habe ich nach der grossen Eruption des Hekla im Jahre 1845 die Gewinnung der den Kraterspalten dieses Vulcans entströmenden Gase ermöglichen können.

Kann das aufgesammelte Gas unmittelbar zur Analyse verwandt werden, so ist es nicht nöthig, die Gefässe, worin es sich befindet, hermetisch mit dem Löthrohr zu verschliessen. Man benutzt dann eine gewöhnliche Arzneiflasche zum Auffangen, indem man den luftdichten Verschluss durch einen gesunden, weichen Kork, den man noch mit einer Kautschukplatte überziehen kann, bewerkstelligt.

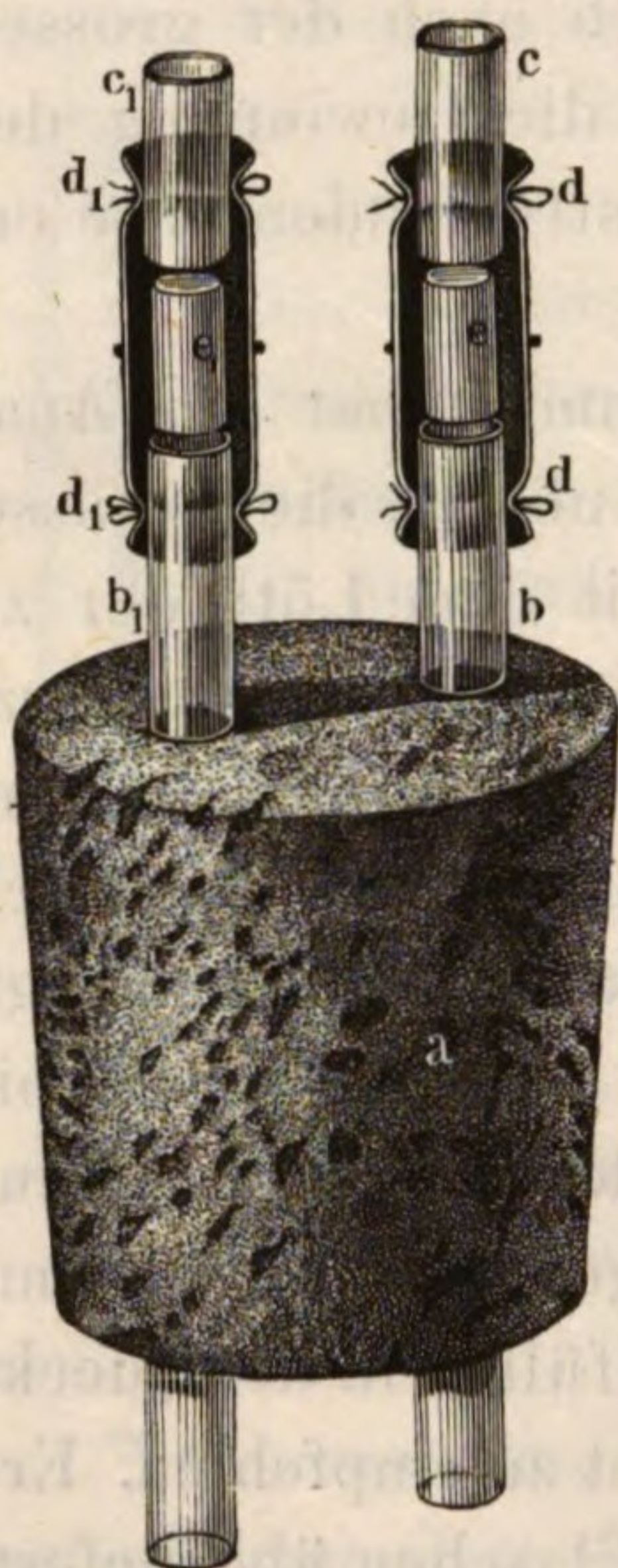
Fig. 9.



Das Gas in grössern als 40 bis 100 CC. fassenden Flaschen aufzufangen, ist wegen der Unbequemlichkeit beim Umfüllen in der Quecksilberwanne nicht zu empfehlen. Erhält man es in Flaschen überliefert, die ihrer Grösse wegen nicht unter Quecksilber gebracht werden können, so taucht man nur den Hals derselben in Quecksilber und wechselt den Kork mit einem anderen von folgender, aus Fig. 9 ersichtlicher Einrichtung. Die durch den Kork *a* geführte Glasröhre *b* ist mit der Glasröhre *c* durch eine in der Fig. 9 nur zur Hälfte angedeutete Kautschukröhre *dd* luftdicht verbunden. Diese Kautschukverbindung lässt zwischen den von ihr umschlos-

senen Enden beider Glasröhren einen Zwischenraum, der durch ein massives Glasstäbchen *e* locker ausgefüllt wird,

Fig. 10.

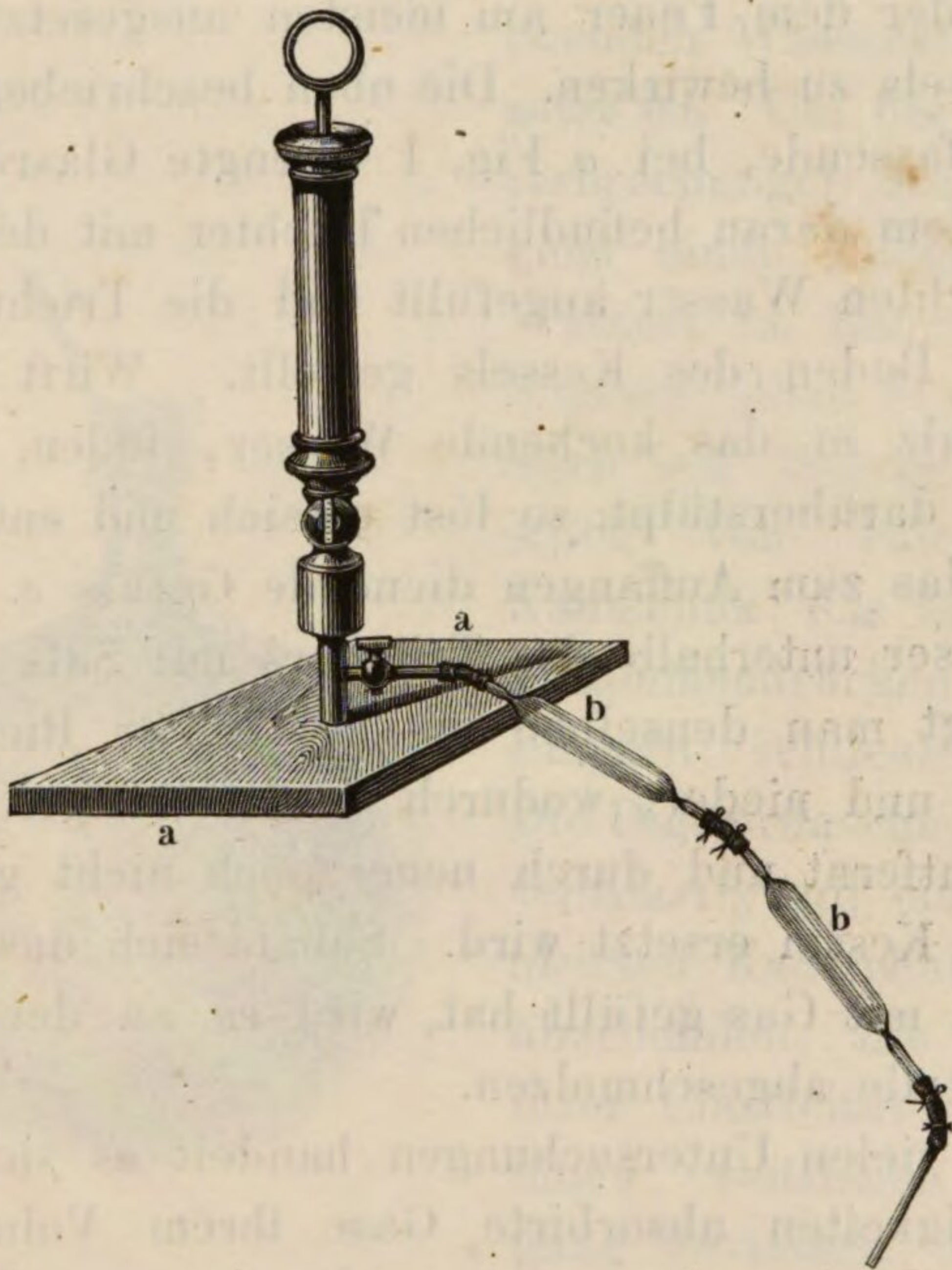


so dass die freie Communication der Röhren *b* und *c* sich jeden Augenblick durch Lösen oder Anziehen einer bei *e* um die Kautschukröhre gelegten Ligatur unterbrechen oder wieder herstellen lässt. Diese Vorrichtung, welche die Stelle eines Hahnes vertritt, aber eine viel grössere Sicherheit als dieser gewährt und die in wenigen Augenblicken erneuert und leicht an jeder beliebigen Stelle eines Apparates eingeschaltet werden kann, findet bei Gasuntersuchungen die mannigfachste Anwendung. Hat man den Kork, nachdem die beiden Röhren *b* und *b*₁ mit Quecksilber gefüllt sind, mit seinen beiden verschlossenen Kautschukhähnen unter Quecksilber luftdicht in den Hals der Flasche gesteckt und dieselbe wieder aufrecht gestellt, so lässt sich das Gas in die zur Messung bestimmten Gefässe leicht überfüllen, wenn man auf das eine Rohr *c*₁ einen mit Quecksilber gefüllten Trichter und in das andere *c* ein capillares, auch mit Quecksilber gefülltes Gasableitungsrohr mittelst einer Kautschukverbindung einsetzt. Durch Oeffnen oder Schliessen der Ligaturen kann dann ein Gasstrom vermittelt des aufgesteckten Ableitungsrohres beliebig ausgetrieben und wieder unterbrochen werden.

Gase aus engen, unzugänglichen Räumen müssen, wenn sie nicht unter einer gewissen Pressung hervordringen, mit Hülfe eines Aspirators oder einer Hand-Luft-

pumpe aufgesogen werden. Eine kleine Pumpe, Fig. 11, wie man sie zum Austrocknen bei organischen Analysen

Fig. 11.



zu benutzen pflegt, reicht für alle Zwecke aus. Das Instrument wird in der Mitte eines kleinen Brettes *aa*, auf welches man sich während des Auspumpens stellt, festgeschraubt und das Gas durch das früher beschriebene System von Sammelröhrchen *bb* bis zur gänzlichen Verdrängung der Luft aufgesaugt.

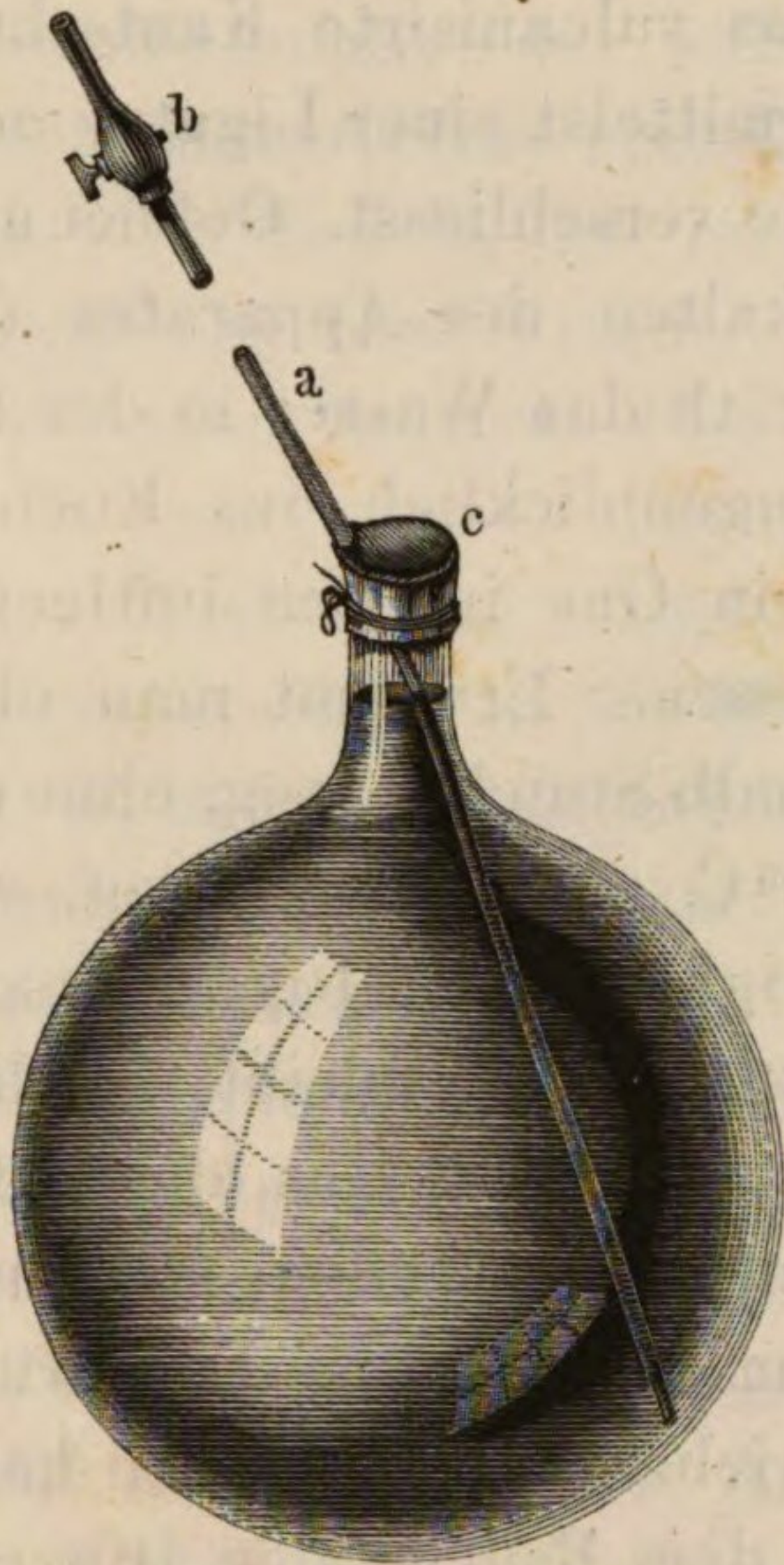
Aus festen in Wasser löslichen Körpern, welche, wie z. B. das bekannte Knistersalz von Wieliczka, Gas in ihren Poren eingeschlossen enthalten, lässt sich dasselbe ohne Schwierigkeit gewinnen, wenn man dabei auf folgende Art verfährt: 15 bis 20 Litres Wasser werden in

einem offenen Kessel durch anhaltendes Kochen von aller Luft befreit und bei einer Temperatur erhalten, welche noch gerade hinreicht, um ein gelindes Aufwallen an der dem Feuer am meisten ausgesetzten Stelle des Kessels zu bewirken. Die oben beschriebene, 40 bis 50 CC. fassende, bei *a* Fig. 1 verengte Glasröhre wird sammt dem daran befindlichen Trichter mit dem heissen ausgekochten Wasser angefüllt und die Trichteröffnung auf den Boden des Kessels gestellt. Wirft man das Knistersalz in das kochende Wasser, indem man den Trichter darüberstülpt, so löst es sich und entlässt sein Gas in das zum Auffangen dienende Gefäss *c*. Hat sich das Wasser unterhalb des Trichters mit Salz gesättigt, so bewegt man denselben in senkrechter Richtung etwas auf und nieder, wodurch das gesättigte Lösungsmittel entfernt und durch neues noch nicht gesättigtes aus dem Kessel ersetzt wird. Sobald sich das Sammelröhrchen mit Gas gefüllt hat, wird es an der ausgezogenen Stelle abgeschmolzen.

Bei vielen Untersuchungen handelt es sich darum, in Flüssigkeiten absorbirte Gase ihrem Volumen und ihrer Zusammensetzung nach zu bestimmen. Die Natur der in Quellen, Flüssen, Sümpfen und Meeren diffundirten Atmosphäre, die Veränderungen, welche diese Atmosphäre nach der Tiefe hin erleidet, die Beziehungen, in denen sie zu der darin lebenden Thier- und Pflanzenwelt steht, lassen sich nur auf diesem Wege ermitteln. Um das Wasser zu solchen Untersuchungen in verschiedenen Tiefen zu sammeln, senkt man mittelst einer Stange oder einer mit Bleigewichten beschwerten Schnur die mit Wasser gefüllte Digerirflasche (Fig. 12) bis in die zu untersuchende Wasserschicht hinab und saugt vermittelst einer bis auf den Boden der Flasche hinabrei-

chenden Röhre von Guttapercha *a* das Wasser aus der Digerirflasche so lange auf, bis es vollständig durch an-

Fig. 12.



deres aus der zu untersuchenden Wasserschicht ersetzt ist. Um bei den Unterbrechungen des Aufsaugens einen Rückfluss des Wassers im Rohre zu verhindern, dient ein Hahn *b* oder ein kleines Röhrenstück von vulcanisirtem Kautschuk, das man durch Zusammendrücken mit den Fingern schliessen kann. Die Digerirflasche selbst ist ventilartig mit einer vulcanisirten Kautschukplatte *c* überbunden, die vermöge ihrer Elasticität dem Rohr einen seitlichen Durch-

gang gestattet, nach dem Herausziehen desselben aber die Mündung vollständig wieder verschliesst. Die an der beabsichtigten Stelle gefüllte Flasche lässt sich daher nach Entfernung des Saugrohrs verschlossen aus der Tiefe emporziehen. Ist dies geschehen, so verbindet man rasch mit der Flasche den beschriebenen Kautschukhahn *a*, Fig. 13 (a. f. S.), den man mit ausgekochtem Wasser anfüllt, und verschliesst. Auf denselben wird die mit etwas Wasser gefüllte Röhre *b* gesetzt, und mit dieser eine zweite getheilte Röhre *c* ebenfalls mittelst eines Kautschukhahns *d* verbunden. Man neigt nun den Apparat so weit, dass etwas Wasser in den Bauch der Kugel *b* tritt, und kocht, wäh-

rend der Hahn *a* geschlossen und der Hahn *d* geöffnet bleibt, so lange, bis alle atmosphärische Luft ausgetrie-

Fig. 13.



ben und durch Wasserdampf ersetzt ist, worauf man das vulcanisirte Kautschukröhrchen *e* mittelst einer Ligatur oder Klemmschraube verschliesst. Oeffnet man nach dem Erkalten des Apparates den Hahn *a*, so geräth das Wasser in der Digerirflasche augenblicklich ins Kochen, und beginnt sein Gas in den luftleeren Raum zu entlassen. Erwärmt man ohngefähr anderthalb Stunden lang, ohne die Temperatur 90°C . zu überschreiten, wobei die Flüssigkeit der Digerirflasche stets in starkem Kochen bleibt, so darf man überzeugt sein, alles Gas, das unter den angegebenen Umständen stets nur mit kochendem Wasser in Berührung kommt, ausgetrieben zu haben. Man kann dann leicht in dem Bauche der Digerirflasche durch vorsichtiges Erwärmen die Dämpfe so weit ausdehnen, dass sich das ausgekochte Wasser genau bis an die Ligatur *d* erhebt. In dem Augenblick, wo dies der Fall ist, schliesst man die Ligatur, entfernt die Röhre *c* von dem Fortsatze *b* und öffnet sie unter Quecksilber durch Lüften der Ligatur bei *e*, um das erhaltene Gas an der Röhrentheilung zu messen.

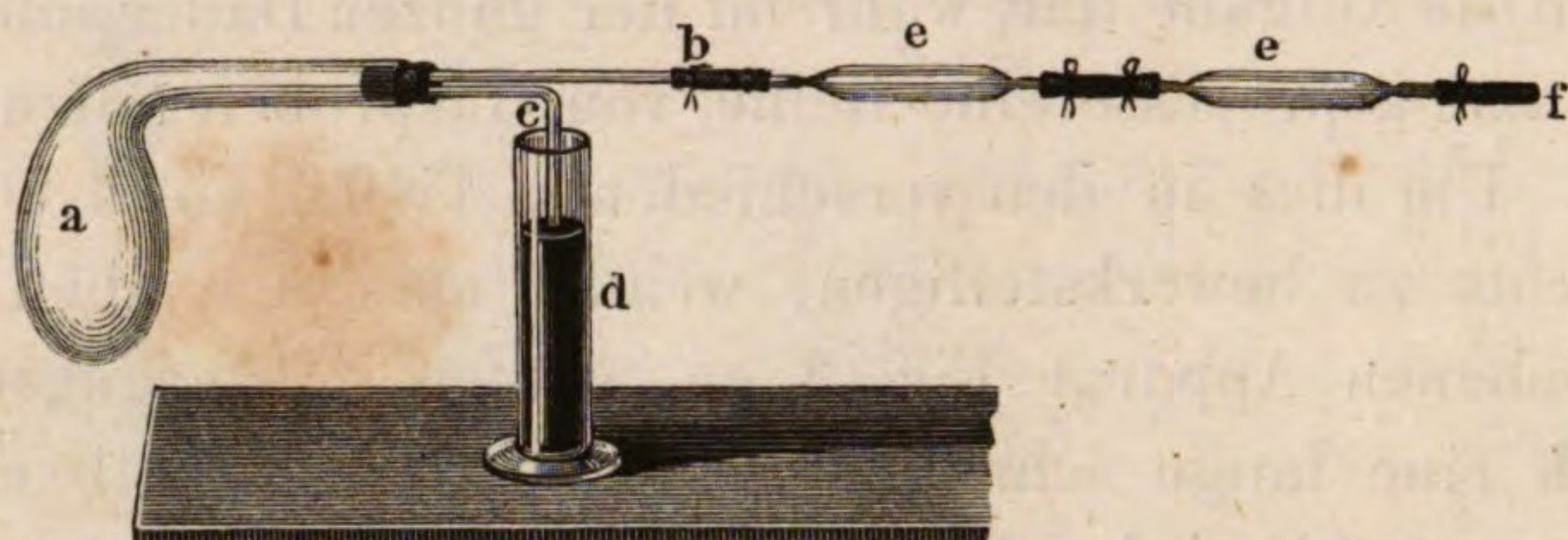
Oft tritt der Fall ein, dass sich in den fortschreitenden Phasen eines Zersetzungsprocesses die Natur der gasförmigen Educte ändert, wie z. B. bei Unter-

suchungen über Verkohlungsprocesse oder bei den Verbrennungs- und Zersetzungserscheinungen, welche in den Gichten eines Ofenschachts auftreten. Dann bietet sich nicht selten die Aufgabe dar, während der ganzen Dauer solcher Zersetzungsprocesse eine Reihe von Gasproben aufzufangen. Um dies in den verschiedenen Tiefen eines Ofenschachts zu bewerkstelligen, wendet man den oben beschriebenen Apparat Fig. 3 an, dessen Zuführungsrohr durch eine lange schmiedeeiserne, mehrere Zoll weite Röhre ersetzt wird. Diese Röhre wird mittelst eines Gerüsts vertical in der Mitte des Schachts auf der obersten Kohlengicht aufgerichtet, so dass das Niedersinken derselben mit dem Gichtengange gleichen Schritt hält. Von dem oberen Ende der eisernen Röhre läuft ein angelöthetes daumendickes Zinnrohr an den Ort herab, wo man den Apparat zum Aufsammeln der Gase aufgestellt hat. Indem man die vorgelegten Sammelröhren von Zeit zu Zeit abschmilzt und durch andere ersetzt, lassen sich leicht aus jeder Tiefe des Ofens Gasproben schöpfen. Die flüchtigen condensirbaren Producte findet man in einem vorgelegten graduirten Cylinder, den man ebenfalls von Zeit zu Zeit wechseln kann. Verbindet man mit dem letzten Sammelrohr ein Glasrohr, das man senkrecht in Wasser eintaucht, so lässt sich, wie schon oben bemerkt wurde, an der Tiefe derjenigen Einsenkung, bei der die Gasentwicklung aus dem Rohr aufhört, die Grösse der Pressung messen, welche die Gase an der Stelle der Röhrenmündung im Ofenschacht besitzen.

Hat man Gase von wechselnder Zusammensetzung, welche sich aus einem verschlossenen Gefässe entwickeln, aufzufangen, so wählt man dazu die Vorrichtung Fig. 14 (a. f. S.). Die in der Retorte *a* entwickelten Producte entweichen anfangs gleichzeitig durch die Röhren *c* und *b*. Die erstere

wird darauf in den Cylinder mit Quecksilber *d* getaucht, so dass der Gasstrom nur noch durch das Rohr *b* und die

Fig. 14.

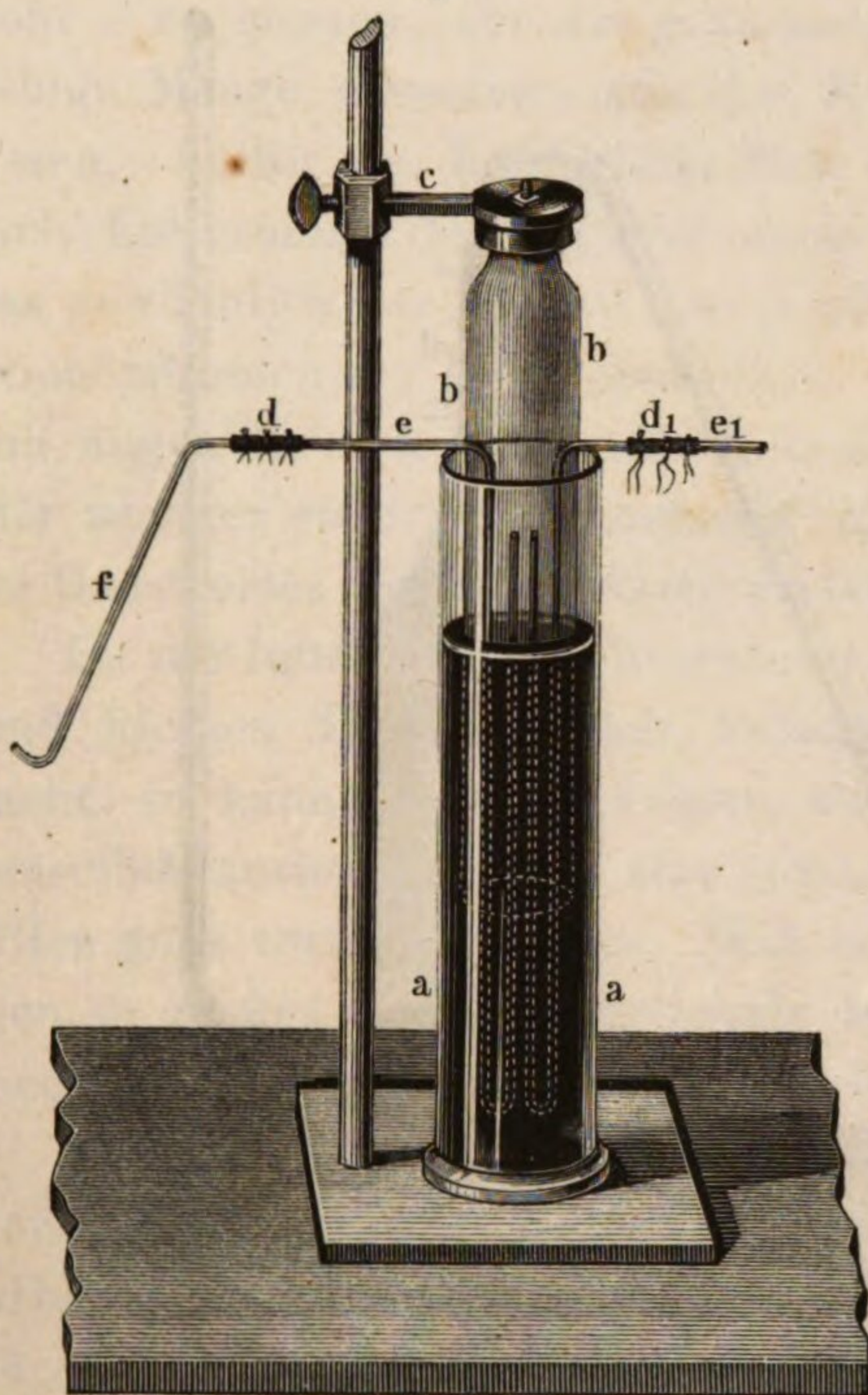


damit verbundenen Sammelröhrchen *ee* streicht. Will man während der Dauer des Versuchs eine Sammelröhre abschmelzen, so verschliesst man das offene Kautschukröhrchen *f* durch Zusammenpressen und senkt den Cylinder abwärts, damit durch eine Druckverminderung im Inneren des Apparates bei dem Abschmelzen der Sammelröhren ein Aufblasen des Glases verhindert wird.

Manche Untersuchungen bringen die Nothwendigkeit mit sich, mehrere Proben von einer gemeinschaftlich aufgefangenen Gasmenge zu verwenden. Um zu diesem Zwecke ein grösseres Gasvolumen aufzufangen, von dem successiv einzelne Portionen genommen werden können, dient der Apparat Fig. 15. *aa* ist ein mit Quecksilber gefüllter Cylinder, in dem sich die Glasglocke *bb* mittelst des Halters *c* auf und nieder bewegen lässt. In diese Glocke führen die Zu- und Ableitungsröhren *e₁ e*, deren jede mit einem Kautschukhahn *d d₁* versehen ist. Soll die Glocke gefüllt werden, so senkt man sie so tief als möglich in den mit Quecksilber gefüllten Cylinder *aa* ein, jedoch immer nur so tief, dass die in der Glocke *bb* mündenden Röhren *e, e₁* nicht unter das Quecksilber tauchen. Ist die atmosphärische Luft aus dem Apparat durch längeres Einleiten des zu untersuchenden Gases vertrie-

ben, so verschliesst man den Kautschukhahn d , zieht die Glocke in dem Maasse, als sie sich füllt, aus dem Queck-

Fig. 15.



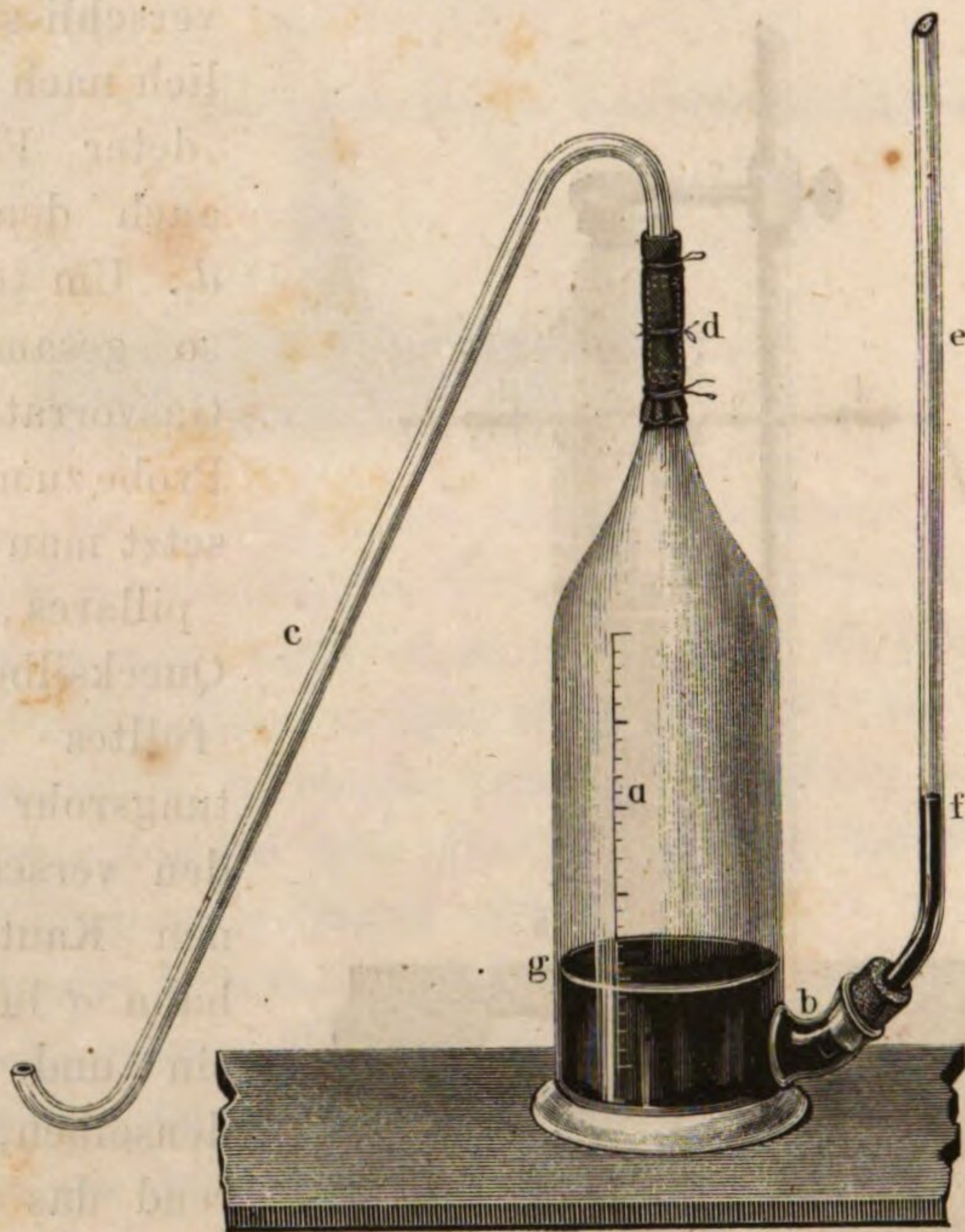
silber hervor und verschliesst endlich nach vollendeter Füllung auch den Hahn d_1 . Um von dem so gesammelten Gasvorrath eine Probe zu nehmen, setzt man ein capillares, mit Quecksilber gefülltes Ableitungsröhr f in den verschlossenen Kautschukhahn d luftdicht ein und öffnet denselben, während das Ableitungsröhr unter dem zur Aufnahme der Probe be-

stimmten Gefässe in einer Quecksilberwanne mündet.

Erfordert es die Natur der Untersuchung, ein gegebenes Volumen Gas ohne Verlust umzufüllen, so wendet man am besten das kleine Quecksilbergasometer Fig. 16 (a. f. S.) an, das vor dem eben beschriebenen überhaupt den Vorzug besitzt, weniger Quecksilber zur Füllung zu erfordern. Das Glasgefäss a , welches nahe am Boden mit einem aufwärts gebogenen Tubulus b versehen ist, steht

vermittelst des Kautschukhahns *d* mit dem capillaren Ableitungsrohr *c* in Verbindung. Das Gasometer wird

Fig. 16.



bei verschlossenem Kautschukhahn durch den Tubulus *b* in horizontaler Lage mit Quecksilber gefüllt, wieder aufrecht gestellt und das Gas durch den wo möglich unter Quecksilber mündenden Tubulus *b* aufgefangen. Soll dasselbe ohne Verlust ganz oder theilweise übergefüllt werden, so senkt man das capillare Ableitungsrohr *c* unter das zur Aufnahme des umzufüllenden Gases bestimmte mit Quecksilber gefüllte Gefäss, steckt die Röhre *e* mittelst eines gut schliessenden Korkes so tief in den Tubulus ein, dass das Quecksilber ohngefähr bis zu dem

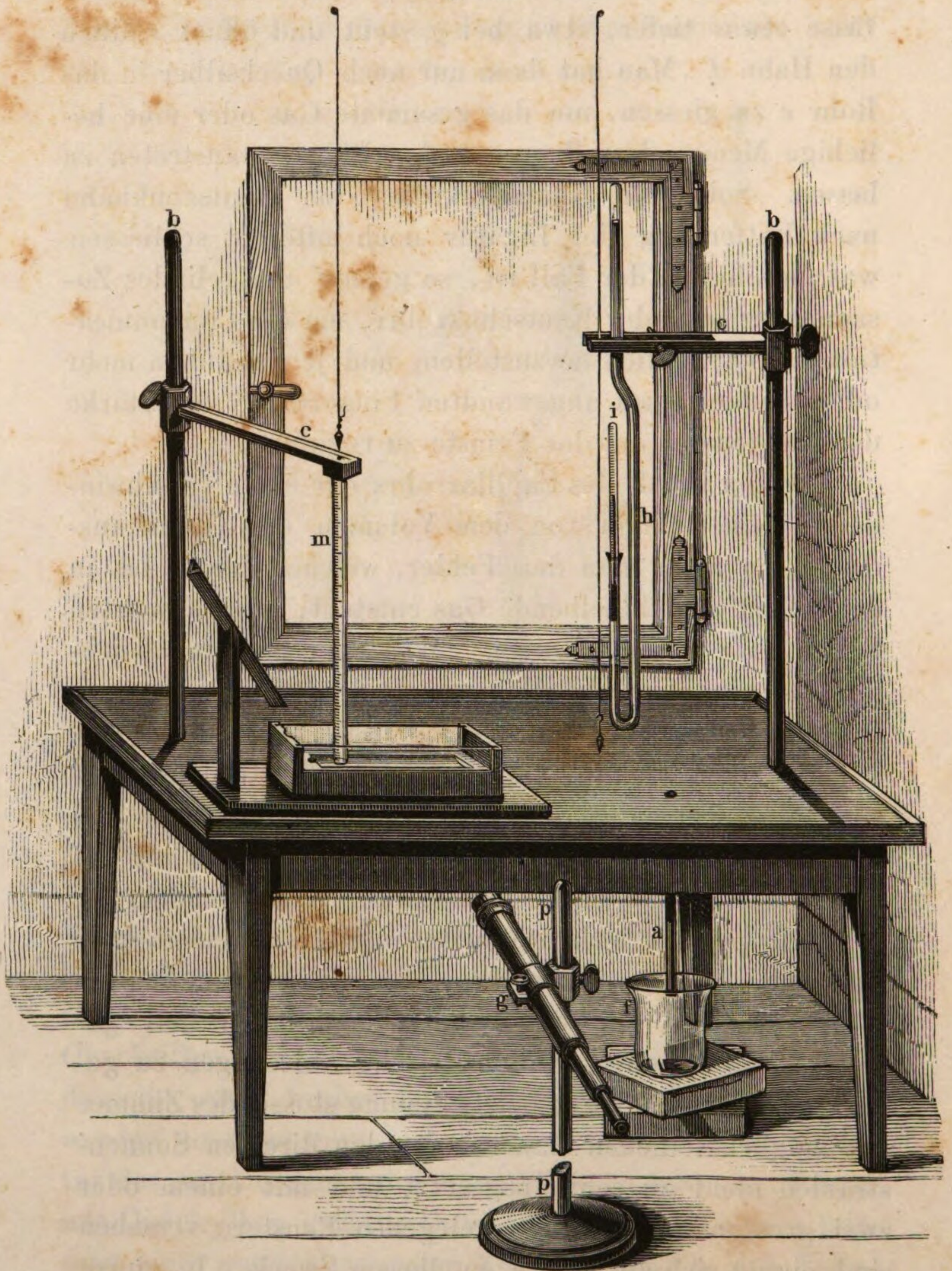
Punkte *f* reicht, während das Quecksilberniveau im Gefässe etwas tiefer, etwa bei *g*, steht, und öffnet endlich den Hahn *d*. Man hat dann nur noch Quecksilber in das Rohr *e* zu giessen, um das gesammte Gas oder eine beliebige Menge desselben aus der Röhre *c* austreten zu lassen. Sollte die Kautschukröhre am Kautschukhahn nach Entfernung der Ligatur noch luftdicht schliessen, was gewöhnlich der Fall ist, so genügt ein gelindes Zusammenpressen der Kautschukröhre, um die Communication augenblicklich herzustellen, und je nach dem mehr oder weniger stark angewandten Fingerdruck die Stärke des Gasstromes auf das Feinste zu reguliren.

Da der Inhalt des Capillarrohrs nur einen verschwindend kleinen Theil von dem Volumen des Gases ausmacht, so kann man den Fehler, welcher durch das in demselben zurückbleibende Gas entsteht, in den meisten Fällen ganz vernachlässigen. Will man ihn berücksichtigen, so genügt es, den Rauminhalt des Capillarrohrs mit Quecksilber auszumessen und mit in Rechnung zu ziehen.

Nachdem wir die hauptsächlichsten Mittel und Wege kennen gelernt haben, die man bei dem Aufsammeln und Aufbewahren von Gasen einzuhalten hat, können wir uns nun zu den Methoden der Gasmessung selbst wenden.

Alle gasometrischen Arbeiten müssen an einem Orte ausgeführt werden, welcher vor atmosphärischem Temperaturwechsel möglichst geschützt und dabei hell genug ist, um genaue kathetometrische Ablesungen zu gestatten. Ein nicht an geheizte Räume stossendes Zimmer mit möglichst dicken Mauern, die den directen Sonnenstrahlen nicht zu sehr ausgesetzt und mit einem oder zwei grossen nach Norden gelegenen Fenstern versehen sind, eignet sich am besten zu diesem Zweck. In einem solchen Gaslaboratorium pflegt die Temperatur kaum um

Fig. 17.



mehr als 1° C. täglich zu variiren, selbst wenn im Freien plötzlich Schwankungen von 8° bis 12° C. eintreten. Die Versuche werden auf einem grossen umrandeten Tische (Fig. 17) ausgeführt, der mit einer Abflussröhre *a* für das bei dem Arbeiten verschüttete Quecksilber versehen

Fig. 18.



Fig. 19.

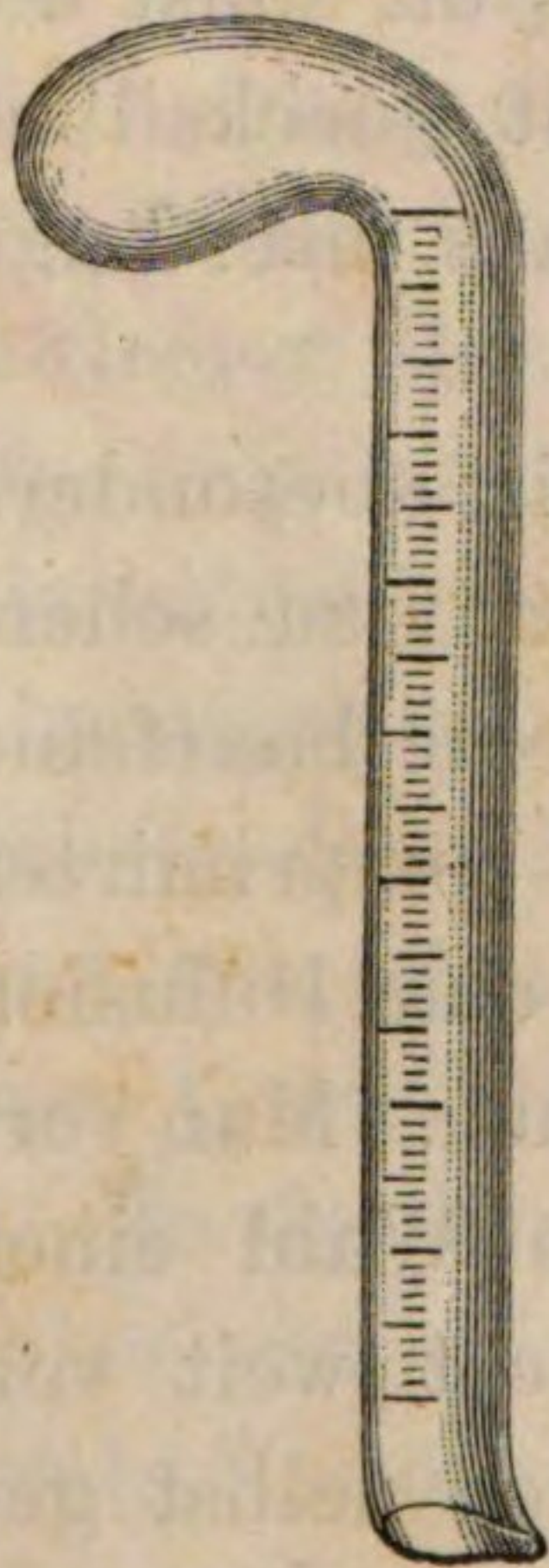


Fig. 20.



ist, und an seinem Rande zwei feststehende 1.5 bis 2^m hohe Stative *b b* trägt. An diesen befinden sich die beweglichen, mit Korkklammern versehenen Arme *c c*, die nach verschiedenen Richtungen über den Tisch hingeführt werden können und zum Halten des Barometers *h* und des Eudiometers *m* dienen. *p p* ist das zur Ablesung beider Instrumente dienende Kathetometer.

Die Volumenmessungen geschehen in Eudiometern und Absorptionsröhren, die man mit einer feinen aufgeätzten Millimetertheilung versieht, und dann kalibriert. Die Länge der Absorptionsröhre Fig. 18 beträgt 250^{mm}, ihr Durchmesser 20^{mm}, und der Rauminhalt ohngefähr 60 C C. Die bidetförmige Mündung ist, wie der Holzschnitt zeigt, mit einem kleinen Schnabel versehen, vermittelst dessen man das gemessene Gas leicht ohne Verlust in andere Gefässe unter Quecksilber überfüllen kann. Die Röhre

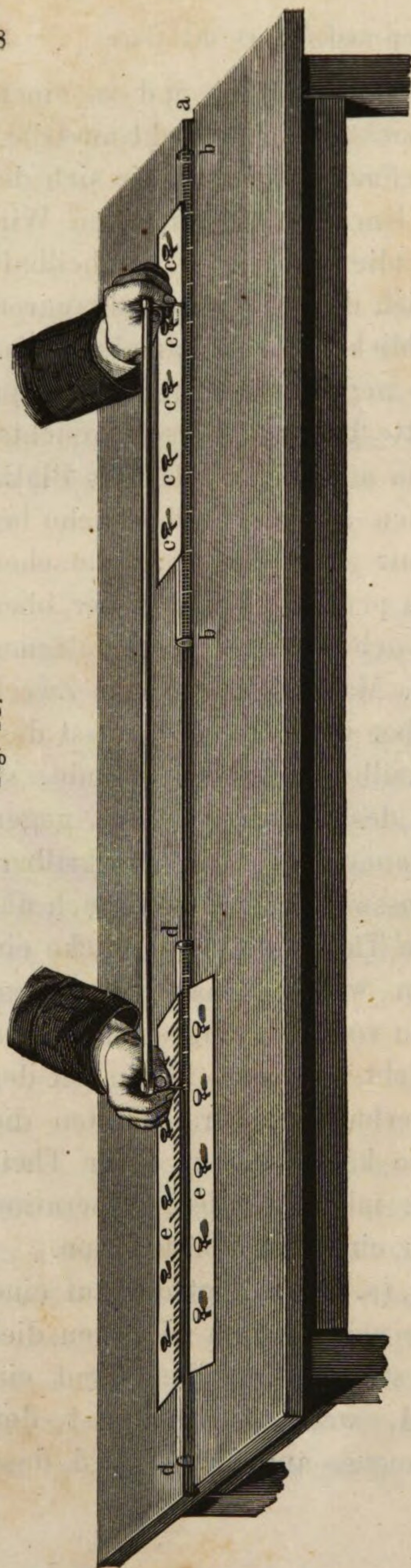
Fig. 19 (a. v. S.) unterscheidet sich von der ersteren nur dadurch, dass sie in eine kleine, zur Aufnahme von Absorptionsmitteln dienende Retorte endigt. Das Eudiometer Fig. 20 (a. v. S.) hat bei einem Durchmesser von 20^{mm} eine Länge von 500 bis 600^{mm} und mag ohngefähr 160 C.C. fassen. Ausser diesem Instrument, welches nur eine Glasstärke von ohngefähr 2^{mm} zu besitzen braucht, wendet man noch zwei ganz ähnliche von etwas grösseren Dimensionen an. Das eine hat bei gleicher Weite und Glasstärke mit dem vorigen eine Länge von 700 bis 800^{mm} , und das andere fasst 500 bis 600 C.C., und hat 22^{mm} inneren Durchmesser. In diese Röhren sind zum Durchschlagen des elektrischen Funkens zwei Platindrähte eingeschmolzen, welche an der inneren Glaswölbung des Eudiometerkopfes hinlaufen und an ihren Enden 1 bis 2^{mm} von einander abstehen. Die Drahtunterbrechung zum Ueberschlagen des Funkens, wie es sonst gewöhnlich zu geschehen pflegte, in dem Mittelpunkt des Eudiometerkopfes freistehend anzubringen, ist unzweckmässig, da sonst die Drähte bei dem Füllen des Instrumentes mit Quecksilber oder bei dem Reinigen desselben zu leicht aus ihrer Lage gebracht werden würden.

Auf das Einschmelzen der Drähte ist besonders Sorgfalt zu verwenden und namentlich darauf zu sehen, dass sich zwischen dem Glase und Platin keine haarfeine Oeffnungen erhalten, die, ohne selbst stark comprimierter Luft einen Durchgang zu gestatten, doch eine Diffusion der eingeschlossenen Gase veranlassen können. Man vermeidet diese feinen Oeffnungen durch die Wahl einer Glassorte, deren Ausdehnungscoefficient nicht weit von dem des Platins absteht. Das Einschmelzen selbst geschieht, indem man das vor der Lampe erhitzte Glas mit der Spitze eines glühenden, der erweichten Glasmasse

leicht anklebenden Platindrahtes berührt und zu einem feinen hohlen Glasfaden auszieht, welcher dicht am Glase abgeschnitten, eine kleine Oeffnung bildet, in die sich der Draht einschmelzen lässt. Um die katalysirenden Wirkungen des Platins auszuschliessen, ist es vortheilhaft, die Drähte zuvor oberflächlich dadurch zu amalgamiren, dass man sie einige Augenblicke, mit Zinkamalgam und Salzsäure in Berührung, als negative Elektroden in den Kreis einer galvanischen Kette bringt. Diese Vorsichtsmaassregel ist indessen kaum nöthig, da sich das Platin sehr bald mit fremden Stoffen an seiner Oberfläche bedeckt. Bevor die Röhre mit einer Theilung versehen wird, hat man sorgfältig zu prüfen, ob keine der oben erwähnten feinen Oeffnungen neben dem eingeschmolzenen Platindraht vorhanden sind. Man füllt zu diesem Zweck das Eudiometer mit Quecksilber völlig an und stösst dessen offenes unten in Quecksilber mündendes Ende, so viel es die Zerbrechlichkeit des Glases gestattet, gegen den Boden der Quecksilberwanne auf. Die Quecksilbersäule erhält dadurch eine stossweise Bewegung nach unten, wodurch in ihrem oberen Theile auf Augenblicke ein luftleerer Raum entsteht, in welchen man bei jedem Stoss ein kleines Luftbläschen von dem eingeschmolzenen Platindraht aus aufsteigen sieht, wenn das Platin mit der Glasmasse nicht luftdicht verbunden war. Halten die Röhren diese Prüfung aus, so kann man zu ihrer Theilung schreiten. Ich bediene mich zu dieser Operation einer Copirmaschine von sehr einfacher Construction.

In der Rinne *a a* Fig. 21, (a. f. S.), liegt der auf eine Röhre von sehr hartem Glase geätzte, zum Abtragen dienende Etalon *b b*. Zur Befestigung desselben dient ein dünnes, messingenes Lineal, welches vermittelst der Schrauben *ccc* an die Theilung so angedrückt wird, dass

Fig. 21.



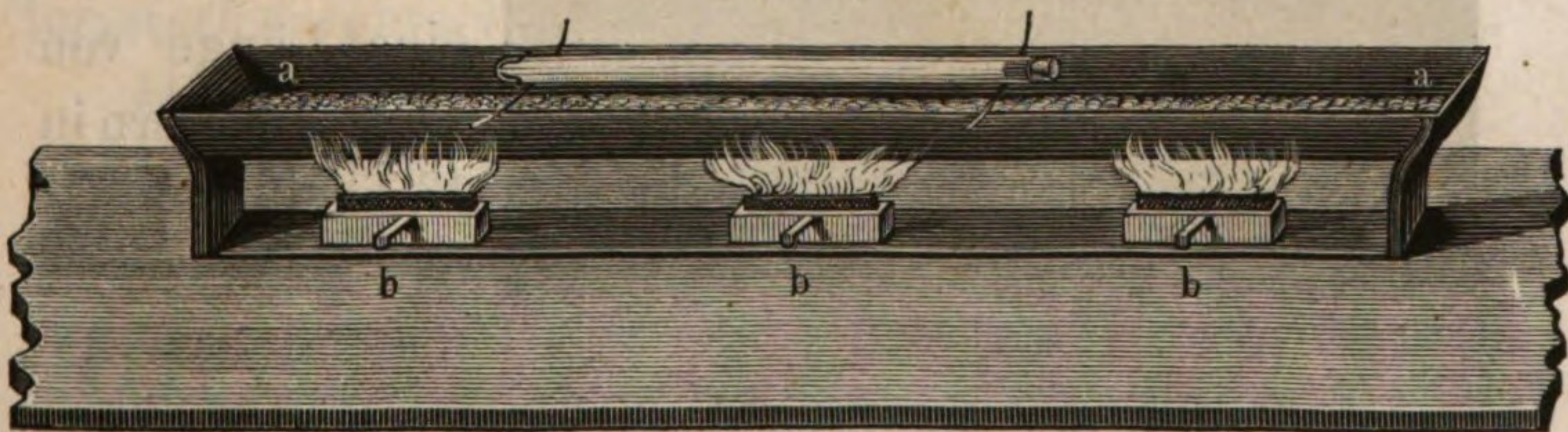
Erster Abschnitt

die Wölbung der Glasröhre über dem anliegenden Rande des Lineals noch etwas ansteigt. Die zu theilende Glasröhre *dd* befestigt man auf ähnliche Weise in der Rinne des Brettes vermittelst zweier Lineale *ee*, deren einige Millimeter von einander abstehende Ränder nur denjenigen Theil der Röhre frei lassen, welcher die Theilung aufnehmen soll. Mit Hülfe eines Stangenzirkels, dessen eine Spitze man in die mässig tief eingätzten Theilstriche des Etalons einsetzt, kann man die Normaltheilung auf jede mit einer dünnen Wachsschicht überzogene Glasröhre leicht übertragen. Diese Operation lässt sich mit eben so grosser Schnelligkeit als Schärfe ausführen, indem man die dem Lineal des Etalons anliegende, mit dem Daumen und Zeigefinger der rechten Hand leicht getragene

Zirkelspitze von einem Theilstrich des Etalons auf den folgenden hinübergleiten lässt, wobei man sich durch das Gefühl oder das Gehör allein leiten lässt. Man kann auf diese Weise bei einiger Uebung leicht, ohne einen Blick auf die zu übertragende Theilung zu werfen, 50 bis 60 Theilstriche in einer Minute mit grosser Genauigkeit abtragen. Die Länge der übertragenen Theilstriche ist durch den Abstand der beiden an der Röhre liegenden Lineale *e e* bestimmt, indem zugleich die nöthige Verlängerung der Striche, welche den halben und ganzen Centimetern entsprechen, durch correspondirende Einschnitte in den Rand des einen Lineals bewirkt wird, die man durch Verschieben des Etalons mit den Theilstrichen desselben coincidirend einstellt. Damit aber die Lineale den Wachsüberzug nicht in der Nähe der Theilung berühren, und die Glasfläche blosslegen, sind dieselben mit zwei, einige Linien vom Rande aufgelötheten dicken Metallleisten versehen, welche das Glas in einem Abstände von der Theilung berühren, wo eine Beschädigung des Wachsüberzuges ohne Nachtheil geschehen kann.

Um den in den Wachsüberzug gravirten Maassstab dem Glase einzuätzen, übergiesst man eine Lage Flussspathpulver in einer Bleirinne *aa*, Fig. 22, mit concentrirter Schwefelsäure, erhitzt die Rinne gleichzeitig an mehreren Punk-

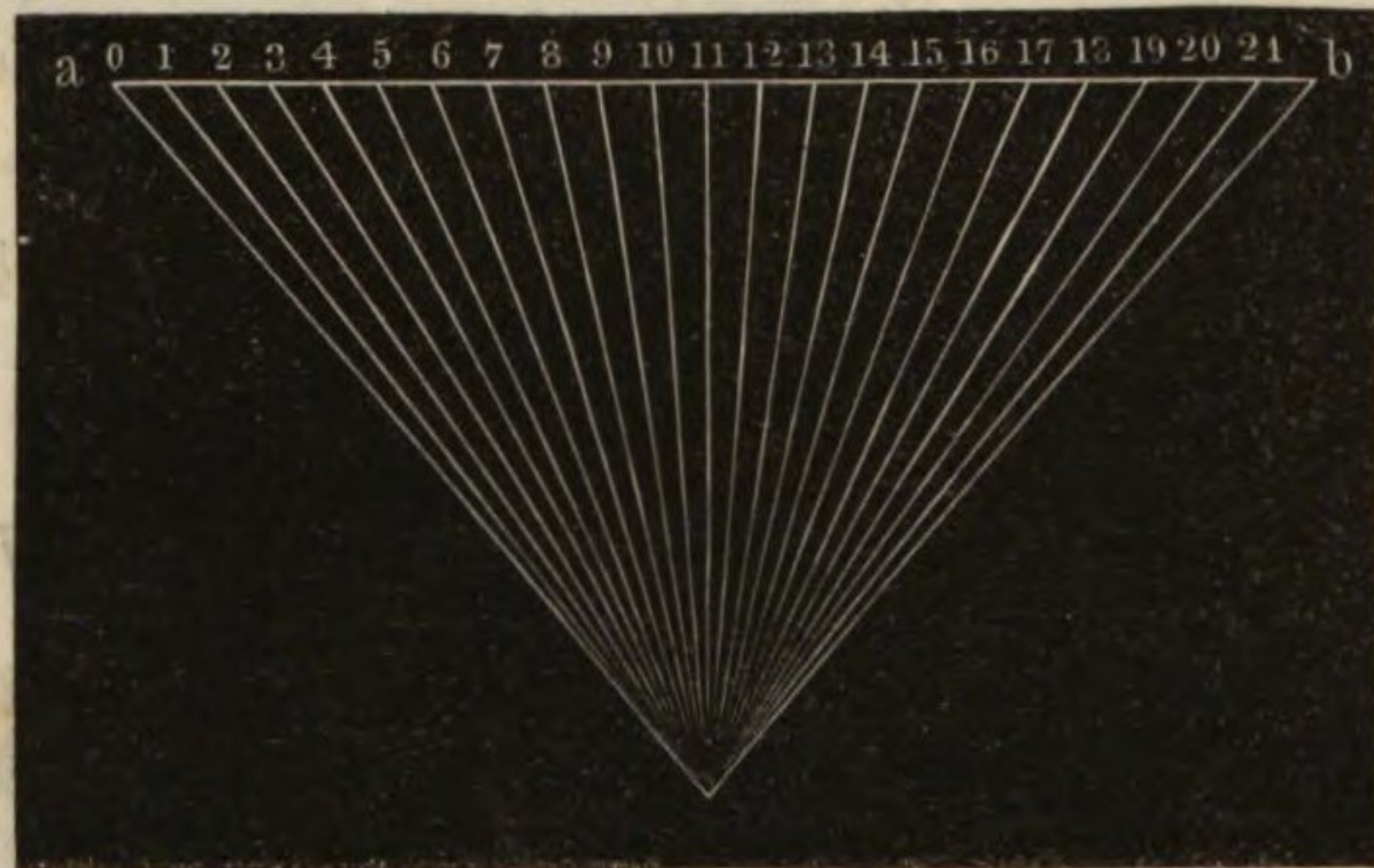
Fig. 22.



ten durch die daruntergesetzten Spirituslampen *b b b* bis zur Entwicklung der Fluorwasserstoffsäure, legt die zu ätzende Röhre nach Entfernung der Spirituslampen über die Flusssäuremischung und lässt sie, je nach der Härte des Glases, 3 bis 15 Minuten lang unter einer Papierbedeckung liegen. Die Aetzung wird nur dann scharf und deutlich, wenn die Fluorwasserstoffdämpfe wasserfrei sind, was sich leicht durch einen grossen Ueberschuss von Schwefelsäure erreichen lässt. Um sich zu überzeugen, ob die Operation gehörig vollendet ist, prüft man die Tiefe der Aetzung mit dem Fingernagel an einem der unteren Theilstriche, die ohne Nachtheil für den späteren Gebrauch des Instruments zerstört werden können. Noch schöner werden die Aetzungen, wenn man gar keine Erhitzung anwendet und die Röhre längere Zeit über der kalten Mischung liegen lässt.

Kommt es darauf an, eine gegebene Länge in eine bestimmte Anzahl Theile zu theilen, so bedient man sich dazu eines auf hartes Glas geätzten Systems gleich weit von einander abstehender, in einen Punkt zusammenlau-

Fig. 23.



fender Linien, Fig. 23. Der Gebrauch dieser Vorrichtung ist leicht verständlich. Wäre z. B. eine Länge von 11 Millimetern in 13 Theile zu theilen, so bestimmt man mit dem Zir-

kel den Punkt, wo die dreizehnte Linie mit der ersten eine Länge von 11 Millimetern einschliesst. Nachdem

man an diesem Punkt parallel mit der Linie *ab* das Lineal aufgelegt, hat man nur noch die zwischen den erwähnten Punkten befindlichen 13 gleichen Theile auf die oben beschriebene Art mittelst des Stangenzirkels zu übertragen.

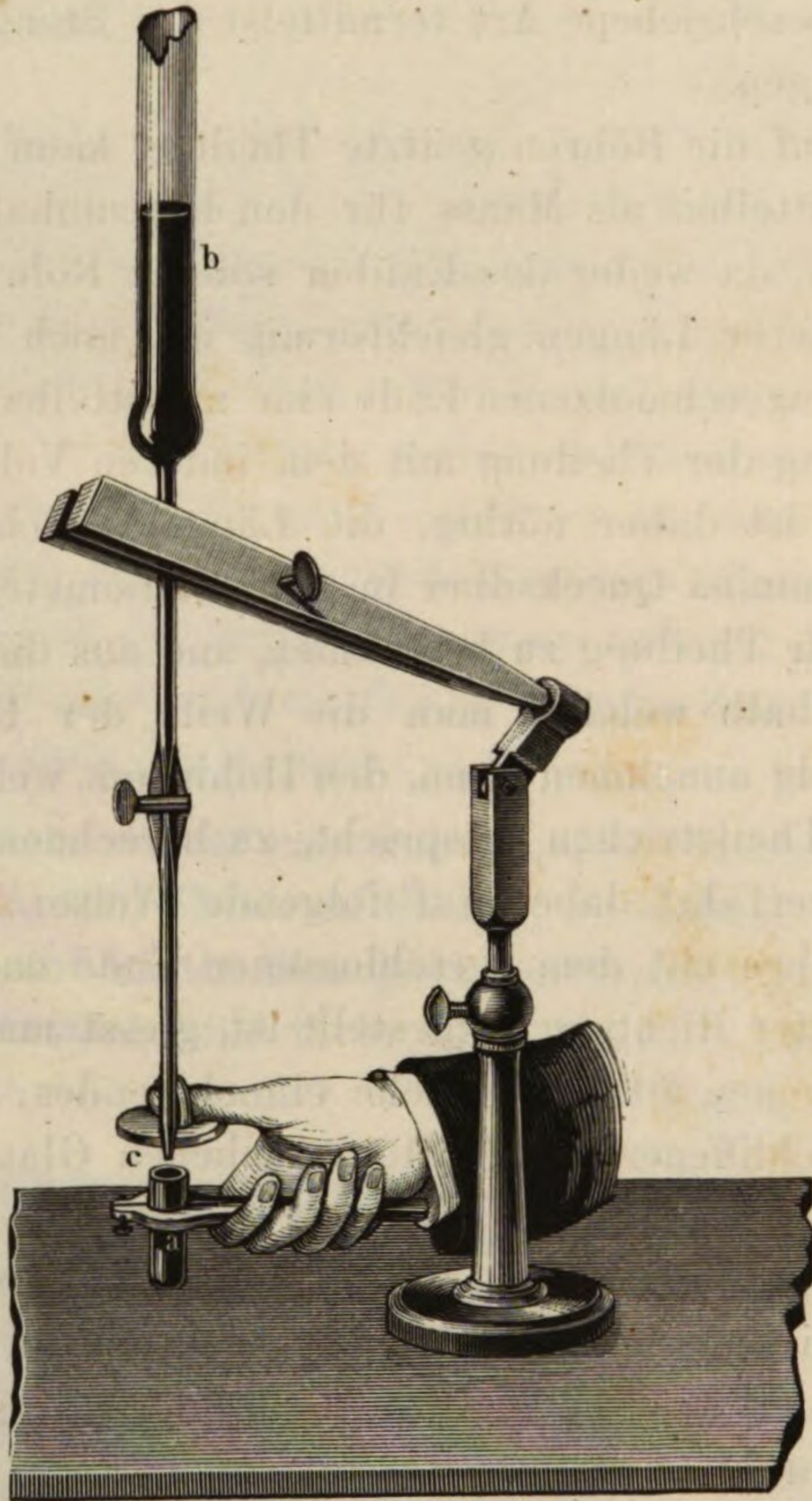
Die auf die Röhren geätzte Theilung kann natürlich nicht unmittelbar als Maass für den Rauminhalt derselben dienen, da weder das Kaliber solcher Röhren innerhalb grösserer Längen gleichförmig ist, noch die Wölbung am zugeschmolzenen Ende eine unmittelbare Uebereinstimmung der Theilung mit dem inneren Volumen zulässt. Es ist daher nöthig, die Länge, welche gleich grosse Volumina Quecksilber in dem Eudiometer einnehmen, an der Theilung zu bestimmen, und aus diesen Längen, innerhalb welcher man die Weite der Röhre als gleichförmig annehmen kann, den Hohlraum, welcher den einzelnen Theilstrichen entspricht, zu berechnen.

Man verfährt dabei auf folgende Weise: Nachdem die Messröhre mit dem verschlossenen Ende nach unten in lothrechter Richtung aufgestellt ist, giesst man in dieselbe ein gegen 20 Theilstriche einnehmendes, in einem mit aufgeschliffener Glasplatte versehenen Glasröhrchen abgemessenes Quecksilbervolumen von stets gleicher Temperatur und bestimmt den Stand des Quecksilbers an der Theilung, indem man die Ablesung, um die Parallaxe, sowie jede Erwärmung zu vermeiden, mittelst des Kathetometerfernrohrs vollführt.

Das Quecksilbermaass besteht in einem kurzen dickwandigen, mit einer hölzernen Handhabe versehenen Proberöhrchen Fig. 24 *a* (a. f. S.), auf dessen abgeschliffenen Rand das abgeschliffene Glasscheibchen *c* zum Abstreichen des überschüssigen Quecksilbers in der Weise, wie es die umstehende Figur zeigt, aufgedrückt wird.

Dadurch dass die Spitze des mit Glashahn versehenen Quecksilbergefäßes *b* bis auf den Boden des Maassröhr-

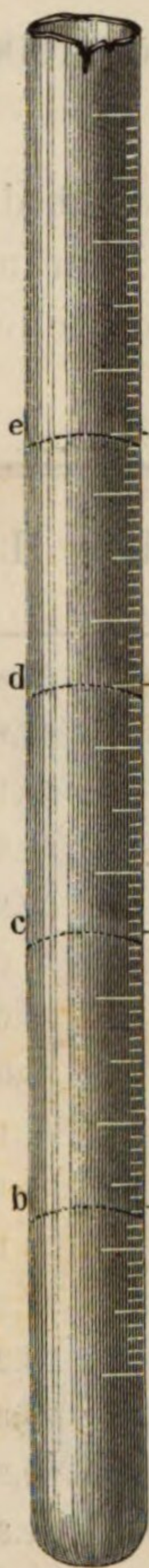
Fig. 24.



chens *a* gesenkt wird, vermeidet man den Ansatz kleiner Luftblasen an den Glaswänden. Das Eingiessen des Quecksilbers in das Eudiometer geschieht durch einen Trichter. Die Luftblasen, welche sich dabei zwischen dem Quecksilber und der Glaswand anlegen, müssen vor

jeder Ablesung auf das Sorgfältigste durch einen Holz- oder Fischbeinstab entfernt werden. Wendet man statt

Fig. 25.



dieses Stabes einen Eisendraht an, so entstehen am Glase kleine, kaum sichtbare Kritzeln, die nach einiger Zeit zu Sprüngen und Rissen werden und das Instrument völlig unbrauchbar machen.

Es sei die erste Ablesung bei b 23.3 (Fig. 25),

„ zweite „ „ c 44.0,

„ dritte „ „ d 64.4,

„ vierte „ „ e 84.4,

so nimmt das zum Ausmessen benutzte Quecksilbervolumen

zwischen b und c den Raum 20.7,

„ c „ d „ „ 20.4,

„ d „ e „ „ 20.0

ein.

Nimmt man nun das Volumen der Maassflüssigkeit willkürlich zu 20.7 (dem grössten Raume, welchen es in dem Instrumente einnimmt) an, so entspricht dem abgelesenen Theilstrich

23.3 das Volumen $1 \times 20.7 = 20.7$,

44.0 „ „ $2 \times 20.7 = 41.4$,

64.4 „ „ $3 \times 20.7 = 62.1$,

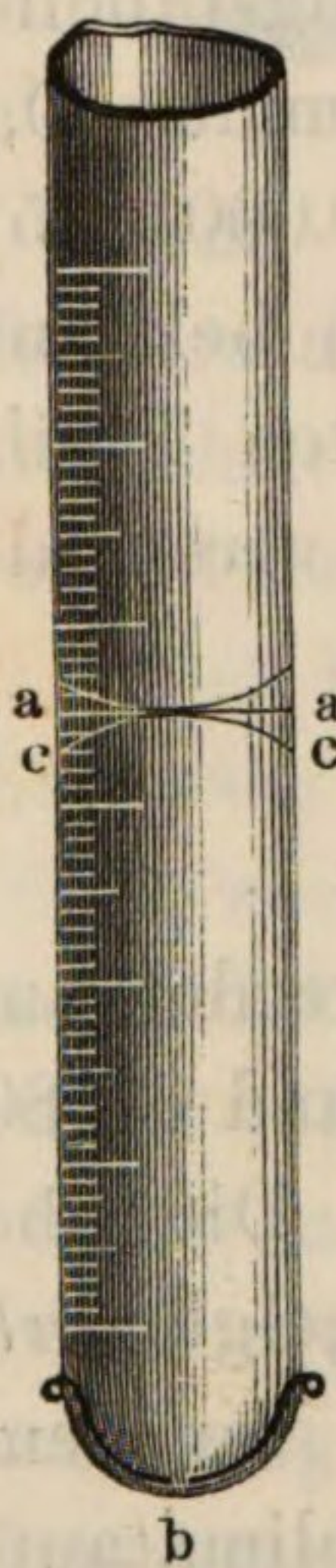
84.4 „ „ $4 \times 20.7 = 82.8$.

Wenn aber diese 20.7 Volumina zwischen e und d dem abgelesenen Volumen 20.0 entsprechen, so wird ein Theilstrich innerhalb dieses Scalenintervalles dem

Hohlraum $\frac{20.7}{20} = 1.035$, und 0.1 Theilstrich dem Hohl-

Die Columnne I. giebt die unmittelbar abgelesenen Theilstriche, die Columnne II. die diesen Ablesungen entsprechenden Hohlräume des Eudiometers in einem zwar willkürlichen, aber vergleichbaren Maasse. Dem direct abgelesenen Gasvolumen der ersten Spalte muss daher stets das corrigirte Volumen der zweiten substituiert werden. Der den beobachteten Theilstrichen entsprechende, der Correctionstabelle entnommene Hohlraum bedarf indessen noch einer kleinen Correction. Wenn nämlich bei dem Kalibrieren des mit der Oeffnung nach oben stehenden Eudiometers die Ablesung des Quecksilberstandes, wie es immer geschehen muss, an dem höchsten Punkte des Meniscus, also bei *aa*, Fig. 26, stattfindet, so giebt

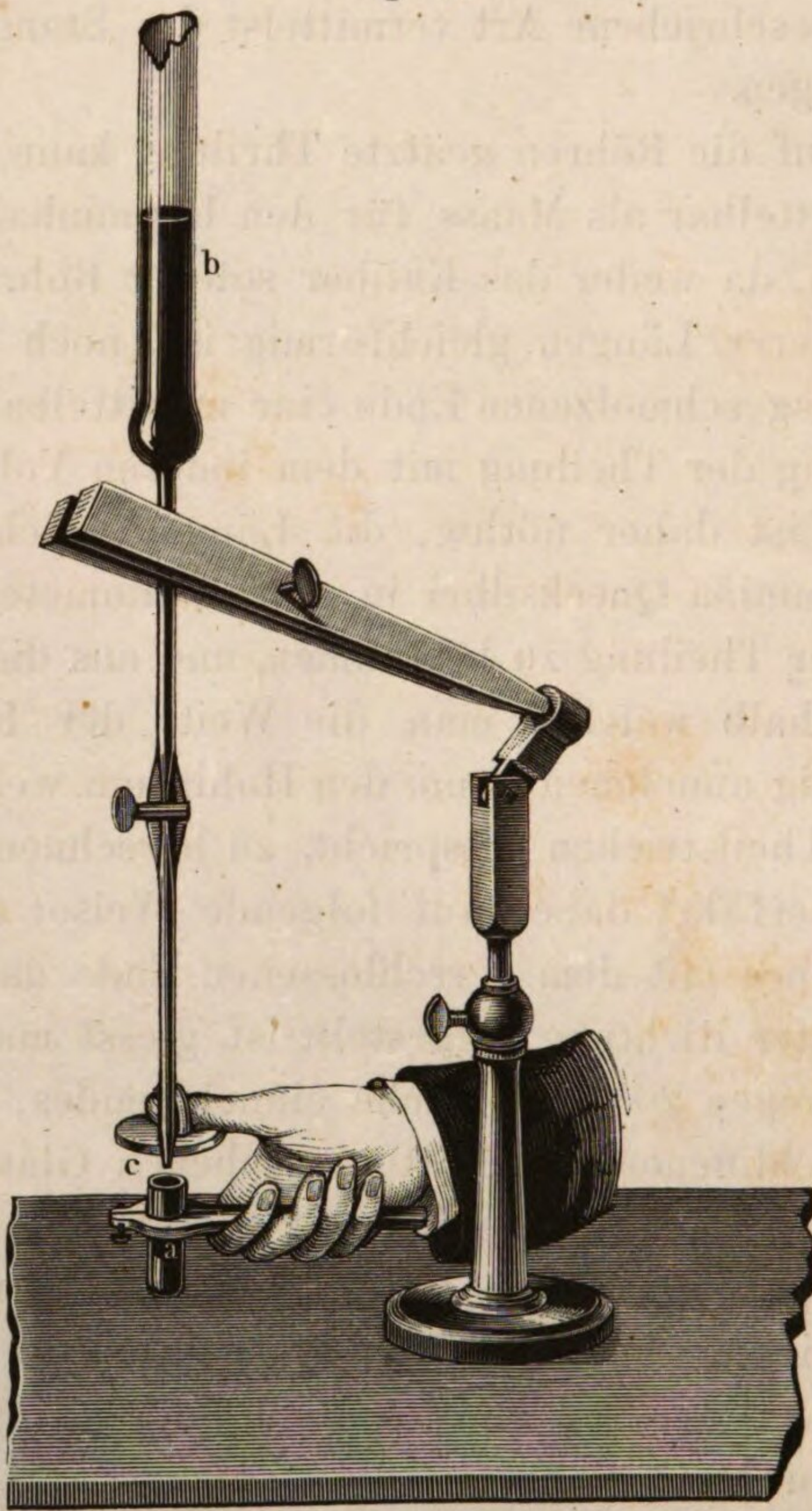
Fig. 26.



diese Beobachtung keineswegs den dem Theilstrich *a* entsprechenden Hohlraum der Röhre *aab*, sondern nur das Volumen *ccb*, welches mithin um das Volumen *acca* kleiner ist als das abgelesene *aab*. Denkt man sich ferner das Instrument mit dem offenen Ende nach unten gekehrt, also nicht mehr in der Stellung, wie es kalibriert wurde, sondern wie es beim Gebrauche steht, so wird ein genau wieder bei *a* abgelesenes Gasvolumen noch weniger dem beim Kalibrieren gemessenen Quecksilbervolumen *ccb* entsprechen, denn man sieht leicht, dass das Gas nun einen um zweimal *caac* grösseren Raum einnimmt, als das Quecksilber bei dem Kalibrieren. Zu dem direct gemessenen Gasvolumen muss daher der doppelte Raum *caac* hinzuaddirt werden. Der in Theilstrichen der Röhre ausgedrückte Werth dieses Volumens *caac* lässt sich aber leicht ein- für allemal bestimmen. Man füllt zu dem Behufe etwas Quecksilber in das mit

Dadurch dass die Spitze des mit Glashahn versehenen Quecksilbergefäßes *b* bis auf den Boden des Maassröhr-

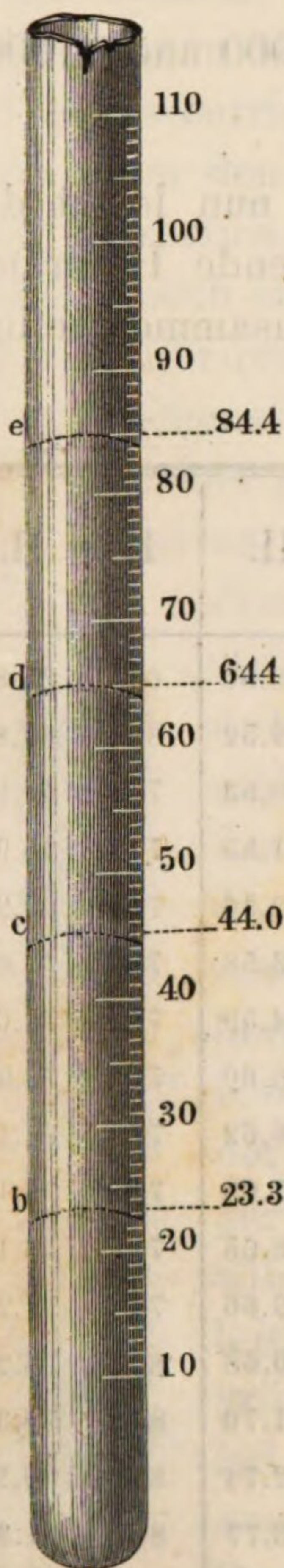
Fig. 24.



chens *a* gesenkt wird, vermeidet man den Ansatz kleiner Luftblasen an den Glaswänden. Das Eingiessen des Quecksilbers in das Eudiometer geschieht durch einen Trichter. Die Luftblasen, welche sich dabei zwischen dem Quecksilber und der Glaswand anlegen, müssen vor

jeder Ablesung auf das Sorgfältigste durch einen Holz- oder Fischbeinstab entfernt werden. Wendet man statt

Fig. 25.



dieses Stabes einen Eisendraht an, so entstehen am Glase kleine, kaum sichtbare Kritzeln, die nach einiger Zeit zu Sprüngen und Rissen werden und das Instrument völlig unbrauchbar machen.

Es sei

die erste Ablesung bei b 23.3 (Fig. 25),

„ zweite „ „ c 44.0,

„ dritte „ „ d 64.4,

„ vierte „ „ e 84.4,

so nimmt das zum Ausmessen benutzte Quecksilbervolumen

zwischen b und c den Raum 20.7,

„ c „ d „ „ 20.4,

„ d „ e „ „ 20.0

ein.

Nimmt man nun das Volumen der Maassflüssigkeit willkürlich zu 20.7 (dem grössten Raume, welchen es in dem Instrumente einnimmt) an, so entspricht dem abgelesenen Theilstrich

23.3 das Volumen $1 \times 20.7 = 20.7$,

44.0 „ „ $2 \times 20.7 = 41.4$,

64.4 „ „ $3 \times 20.7 = 62.1$,

84.4 „ „ $4 \times 20.7 = 82.8$.

Wenn aber diese 20.7 Volumina zwischen e und d dem abgelesenen Volumen 20.0 entsprechen, so wird ein Theilstrich innerhalb dieses Scalenintervalles dem

Hohlraum $\frac{20.7}{20} = 1.035$, und 0.1 Theilstrich dem Hohl-

dem verschlossenen Ende nach unten gekehrte Instrument und liest an der Oberfläche des Meniscus ab. Eine darauf über das Quecksilber gegossene Schicht verdünnter Sublimatlösung bewirkt nach einigen Augenblicken, dass das Quecksilber eine völlig horizontale Oberfläche annimmt. Der Raum, welcher zwischen der ersten Ablesung und der nun horizontal gewordenen Quecksilberoberfläche liegt, giebt, doppelt genommen, jene constante Grösse, welche jeder Ablesung hinzuaddirt werden muss, und die man den Fehler des Meniscus nennen kann.

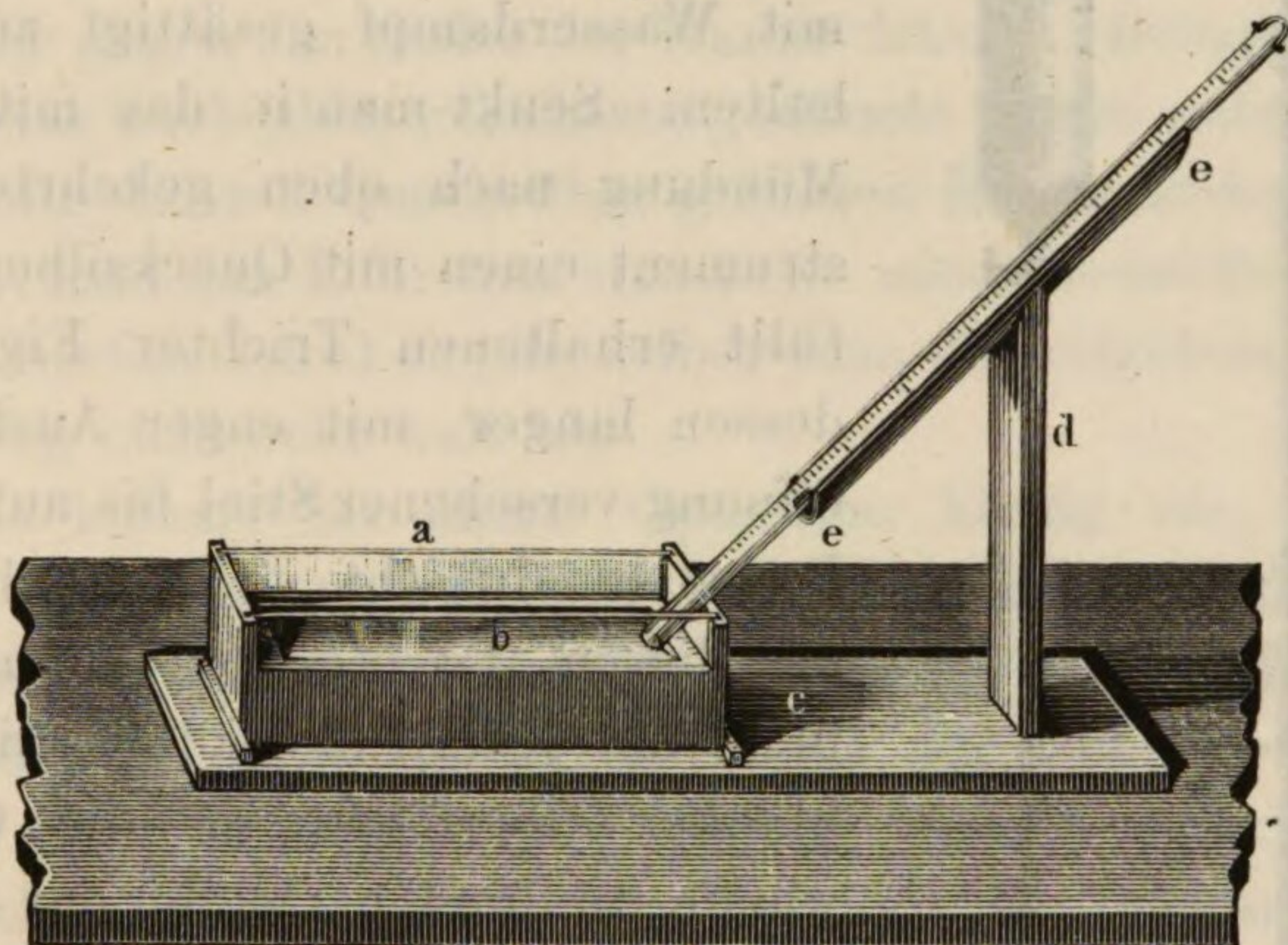
Nur selten wird es nöthig, die relativen Volumenbestimmungen auf absolutes Maass zu reduciren. Wo dies geschehen soll, reicht es ein- für allemal hin, das Gewicht einer Quecksilbermasse g von der Temperatur t zu bestimmen, welche einen aus der Kalibrirungstabelle ersichtlichen Rauminhalt V in der Röhre einnimmt. Da der Ausdehnungscoëfficient des Quecksilbers (0.0001815) und dessen specifisches Gewicht bei 0° (13.596) bekannt sind, so ergibt sich der Werth eines corrigirten Theilstriches in Cubikcentimetern c aus der leicht verständlichen Formel

$$c = \frac{g \times (1 + 0.0001815 \ t)}{13.596 \ V}.$$

Die bei Gasanalysen nöthigen Messungen werden am zweckmässigsten in der kleinen, 0^m350 langen und 0^m080 breiten Quecksilberwanne, Fig. 27, ausgeführt. Dieselbe besteht aus einem mit zwei Wänden von Spiegelglas ab versehenen Troge aus Birnbaumholz, den man vor dem Gebrauche inwendig mit Quecksilber und Sublimatauflösung zuerst feucht und dann trocken abreibt, um eine Adhäsion des Quecksilbers an den Holzwänden herbeizuführen. Die Wanne steht auf einem Brette c , das vermittelst des Pfeilers d oder besser vermittelst zweier Pfei-

ler die mit Filz ausgelegte, zum Ablegen des Eudiometers bestimmte hölzerne Rinne *ee* trägt.

Fig. 27.



Um Gase überzufüllen, die in grössern Arzneiflaschen aufgefangen sind, bedient man sich einer ganz ähnlichen Wanne, deren Höhlung der Grösse und Gestalt jener Flaschen entsprechend ist.

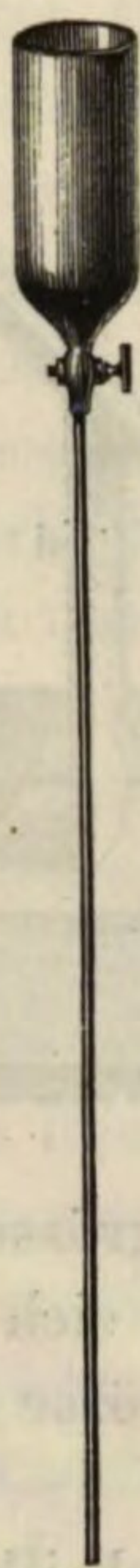
Das Füllen der Messröhren mit Quecksilber und das Einlassen der Gase muss mit besonderer Sorgfalt ausgeführt werden. Man reinigt und trocknet vor jedem Versuche das mit Wasser ausgespülte Instrument mit Fliesspapier. Dies geschieht mittelst des hölzernen Stabes Fig. 28 (a. f. S.), dessen oberes Ende mit 10 bis 20 um $0^{\text{mm}}5$ hervorragenden, zum Festhalten einer Papierumwicklung dienenden Drahtstiftchen versehen ist. Bei dem Auswischen müssen alle an den Glaswandungen etwa zurückbleibenden Papierfäserchen sorgfältig entfernt werden, damit durch deren Verbrennung kein Fehler bei der Entzündung des Gasgemenges entsteht. In den Kopf der so gereinigten Röhre wird, wenn es die Umstände er-

lauben, mittelst eines Glasstabes ein nur linsengrosser

Fig. 28.



Fig. 29.



Wassertropfen gebracht, um das später zu messende Gas vollständig mit Wasserdampf gesättigt zu erhalten. Senkt man in das mit der Mündung nach oben gekehrte Instrument einen mit Quecksilber gefüllt erhaltenen Trichter Fig. 29, dessen langer, mit enger Ausflussöffnung versehener Stiel bis auf den Boden hinabreicht, so legt sich das aus diesem Trichter von unten zufließende Metall mit völlig spiegelblanker Oberfläche an die Glaswände an, und es bleibt nur noch ein kleines Luftbläschen an den Platindrähten hängen, welches entfernt werden kann, wenn man das wieder mit der Mündung nach unten in die Quecksilberwanne gestellte Instrument so lange gegen den Boden derselben aufstösst, bis die von den Platindrähten sich loslösende Luftblase zwischen dem Quecksilber und der Glaswandung sichtbar wird, worauf man dieselbe leicht durch Umkehren und Aufklopfen des mit dem Daumen verschlossen gehaltenen Instrumentes emporsteigen lassen kann. Bei diesen Füllungen vermeidet man das lästige Umherspritzen des Quecksilbers am besten dadurch, dass man die Eudiometer in die hölzerne Abflussröhre *a* des Gastisches Fig. 17 mittelst Schnüren einsenkt. Alles überfließende Quecksilber sammelt sich dann in dem unter dem Rohr *a* stehenden Gefässe an.

Sollen in Sammelröhrchen befindliche Gase in das Eudiometer übergefüllt werden, so bricht man deren zugeschmolzene Spitze unter Quecksilber ab, indem man dieselbe gegen den Boden der Wanne drückt. Bringt man die etwas nach oben gerichtete geöffnete Spitze unter die Mündung des mit Quecksilber gefüllten Eudiometers, und bewegt man das Röhrchen stossweise unter demselben, so steigt das Gas leicht empor, selbst wenn die aufgebrochene Oeffnung nicht sehr weit ist.

Es kommt bei dieser Operation häufig vor, dass kleine Gasbläschen zwischen dem Quecksilber und der inneren Eudiometerwand hängen bleiben; diese müssen sorgfältig zu dem im oberen Theile der Röhre befindlichen Gase emporgetrieben werden; man bewirkt dies dadurch, dass man die Quecksilbersäule im Inneren des Instrumentes dergestalt in Oscillationen versetzt, dass die aufsteigende Schwankung schneller erfolgt als die absteigende. Am besten gelingt dies, wenn das auf dem Träger *ee*, Fig. 27, liegende Rohr, mit den Quecksilberoscillationen synchronisch, schnell abwärts und noch schneller stossweise wieder aufwärts bewegt wird.

Wird es nöthig, Quecksilber in die pneumatische Wanne nachzufüllen, so muss dies stets in gehöriger Entfernung von den darin stehenden Messröhren und Eudiometern geschehen, denn giesst man das Metall in Gestalt eines continuirlichen Strahles nahe am Fusse solcher Röhren ein, so können sogar dann noch Luftblasen in das Instrument eindringen, wenn sich dessen Mündung mehrere Zoll unter dem äusseren Quecksilber-Niveau befindet.

Jede Volumenbestimmung von Gasen erfordert vier Beobachtungs-Elemente:

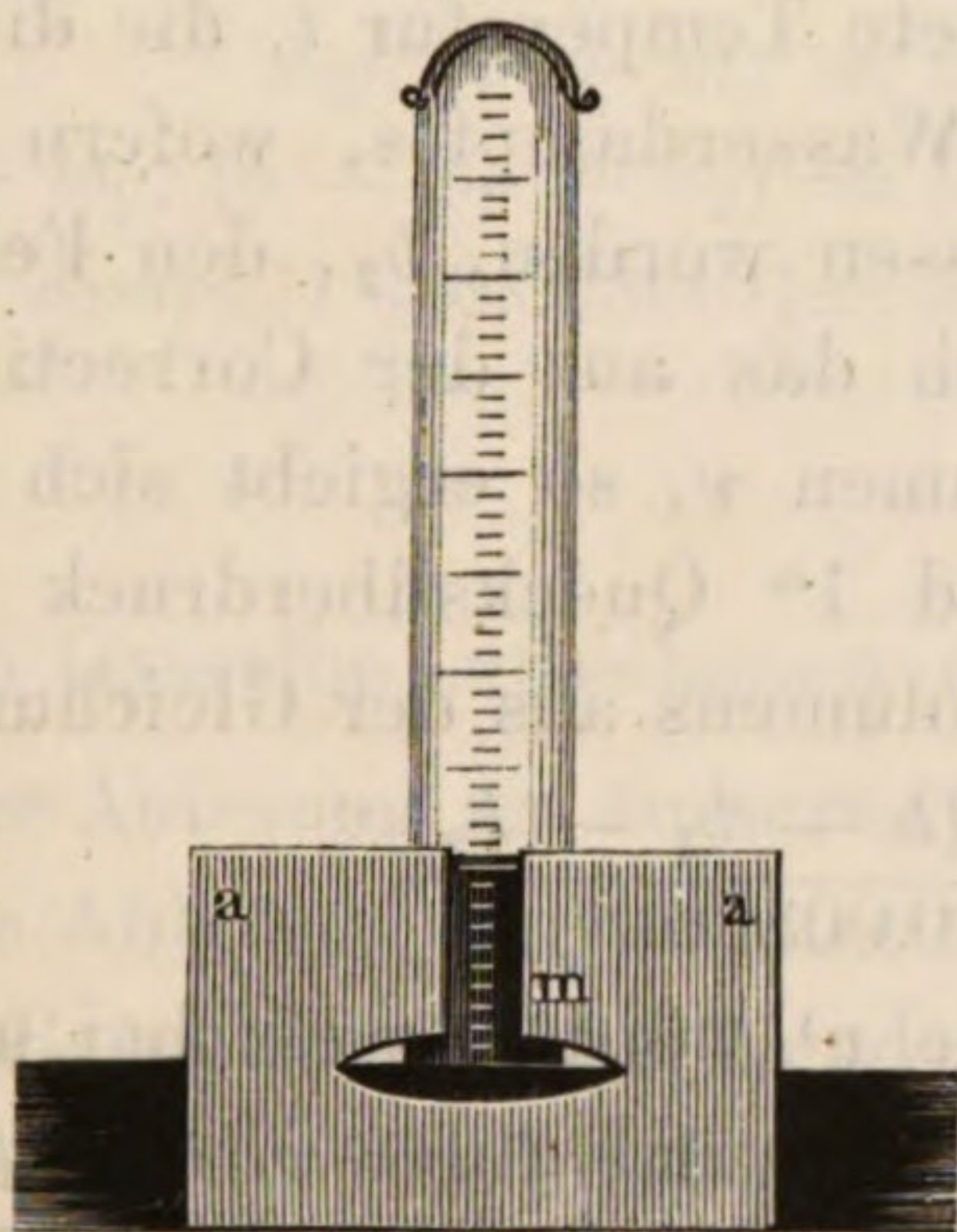
- 1) Den oberen Stand des Quecksilbers im Eudiometer;

- 2) den unteren Stand des Quecksilber-Niveaus der Wanne, beide an der Theilung des Eudiometers gemessen;
- 3) die herrschende Temperatur;
- 4) den Barometerstand.

Alle diese Ablesungen geschehen aus der Ferne mittelst des Fernrohres *g*, Fig. 17, das sich an einem verticalen hölzernen Stabe auf und ab schieben lässt. Ist ein solches Fernrohr 6 bis 10 Fuss von den abzulesenden Theilungen entfernt, so bringt eine kleine Verrückung desselben aus der horizontalen Richtung, wie sie bei einem hölzernen Stativ unvermeidlich ist, nur noch einen so geringen Fehler der Parallaxe hervor, dass man denselben völlig vernachlässigen kann, zumal wenn die Ablesung stets in der Mitte des Sehfeldes geschieht. Man liest zunächst den höchsten Stand der Quecksilberkuppe im Inneren des Eudiometers an der Theilung ab und notirt darüber den an derselben Theilung abgelesenen Stand des äusseren Quecksilberspiegels in der Wanne. Die erste Ablesung ist das Argument für das aus der Kalibrirungstabelle zu ersehende Volumen des Gases. Von der zweiten subtrahirt giebt dieselbe die dem Barometerdruck entgegenwirkende, also von diesem abzuziehende Quecksilbersäule über dem Quecksilberspiegel der Wanne. Zur Messung des Luftdruckes dient das dicht neben dem Eudiometer in derselben Luftschicht mit diesem vertical aufgestellte Heberbarometer *h*, Fig. 17, dessen in einer Linie liegende Schenkel mit einer auf das Glas geätzten Theilung versehen sind. Das eine ebenfalls eingezätzte Theilung tragende Thermometer *i* ist in den unteren Barometerschenkel vermittelt einer Fischbeinfeder eingeklemmt. Auf diese Art können sämtliche Ablesungen dicht neben einander in derselben Sehweite aus der Ferne vorgenommen werden.

Ehe man den Apparat zur Herstellung einer constanten Temperatur sich selbst überlässt, stellt man vorläufig das Fernrohr auf die mit Löschpapier gereinigten, nöthigenfalls mit etwas Zinnober eingeriebenen Glastheilungen ein, um die späteren Messungen möglichst schnell vollführen zu können. Zur besseren Beleuchtung der unteren Theilung dient ein kleiner, zwischen das Quecksilber und die Glaswand der Wanne geschobener weisser Papier-
schirm *aa*, Fig. 30, durch dessen Spalt *m* die Theilung

Fig. 30.



und der Quecksilberspiegel der Wanne sichtbar ist. Die Barometerbeobachtung geschieht stets zuletzt, weil man sich dabei dem Apparate zuvor nähern muss, um das Quecksilber zur Vermeidung seiner Adhäsion am Glase zuvor in Bewegung zu setzen, was mit Hülfe des im unteren Barometerschenkel mittelst der

Fischbeinfeder eingeklemmten Thermometers geschieht.

Damit die Temperaturveränderungen des als Sperrflüssigkeit benutzten Quecksilbers mit denen der umgebenden Luft um so leichter gleichen Schritt halten, ist es vortheilhaft, eine möglichst geringe Quecksilbermasse bei den Versuchen zu verwenden und zwischen jeder Ablesung eine halbe, ja nach Umständen zwei Stunden verstreichen zu lassen. Die Ablesungen der Gasvolumina geschehen stets bei völlig verticaler Stellung des Eudiometers. Um diese herzustellen, bringt man an den Wänden des Zimmers verticale Linien an, die zum Visiren

dienen. Noch bequemer ist es, dem Eudiometer eine einfür allemal bestimmte Stellung am Boden der Quecksilberwanne zu geben, um seine verticale Richtung durch ein von der Decke des Zimmers herabhängendes Loth jeden Augenblick herstellen zu können.

Die beobachteten Gasvolumina werden auf ihren Werth im Zustande der Trockenheit sowie auf 0° C. und 1^m Quecksilberdruck reducirt. Nennt man den beobachteten Barometerstand b , die über dem äusseren Quecksilberniveau der Wanne hervorragende Quecksilbersäule im Eudiometer b_1 , die beobachtete Temperatur t , die dieser zugehörige Tension *) des Wasserdampfes, wofern das Gas überhaupt feucht gemessen worden, b_2 , den Fehler des Meniscus m , und endlich das aus der Corrections-tabelle entnommene Gasvolumen v , so ergibt sich der Werth v^1 des auf 0° C. und 1^m Quecksilberdruck und Trockenheit reducirten Gasvolumens aus der Gleichung:

$$v^1 = \frac{(v + m) (b - b_1 - b_2)}{(1 + 0.00366 t^0)}.$$

Diese reducirten Werthe v^1 werden stets bei allen weiteren Rechnungen zum Grunde gelegt.

Als Rechnungs-Beispiel mag die nachstehende Messung eines und desselben Luftvolumens dienen, das zuerst feucht und dann trocken gemessen wurde.

*) Diese Tensionen sind in der im Anhange gegebenen von Regnault aus seinen Versuchen berechneten Tabelle I. enthalten. Tabelle II. giebt die Werthe von $1 + 0.00366 t^0$ für Temperaturen von -2 bis $+40$. Tabelle III. enthält die Tensionen des absoluten Alkohols, von Dr. Carius aus Munke's Versuchen berechnet.

1) Luft, mit Feuchtigkeit gesättigt:

Untere Ablesung am äusseren Quecksilberniveau	=	565.9
Obere Ablesung am Eudiometer	=	317.3
Vom Barometer abzuziehende Druckhöhe b_1 .	=	248.6
Der Ablesung entspricht in der Kalibrirungs-		
tabelle	v	= 292.7
Correction des Meniscus	m	= 0.4
Lufttemperatur	t	= 20.2 C.
Barometerstand	b	= 0 ^m 7469
Tension für 20 ^o 2 C.	b_2	= 0 ^m 0176
$\log. (v + m)$	=	$\log. 293.1 = 2.46702$
+ $\log. (b - b_1 - b_2)$	=	$\log. 0.4807 = 0.68187 - 1$
+ $\log. compl. (1 + 0.00366 t)$	=	$\log. compl. 1.0739 = 0.96903 - 1$
	$\log. v^1$	= 2.11792
	v^1	= 131.20

2) Dasselbe Luftvolumen, mit Chlorcalcium getrocknet:

Untere Ablesung am äusseren Quecksilberniveau	=	565.9
Obere Ablesung im Eudiometer	=	310.7
Vom Barometer abzuziehende Druckhöhe b_1 .	=	255.2
Der Ablesung 310.7 entspricht in der Kalibri-		
rungstabelle das Volumen	v	= 286.0
Correction des Meniscus	m	= 0.4
Lufttemperatur	t	= 20.2 C.
Barometerstand	b	= 0 ^m 7474
$\log. (v + m)$	=	$\log. 286.4 = 2.45697$
+ $\log. (b - b_1)$	=	$\log. 0.4922 = 0.69214 - 1$
+ $\log. compl. (1 + 0.00366 t)$	=	$\log. compl. 1.0739 = 0.96903 - 1$
	$\log. v^1$	= 2.11814
	v^1	= 131.26

Wenn die Temperatur während der Dauer einer Gasanalyse wie gewöhnlich nur um 1 bis 2^o C. variirt, so wird der Fehler, welcher durch die Dichtigkeitsänderung

der drückenden Quecksilbersäulen entsteht, so gering, dass er, wo es sich nicht um Normalbestimmungen handelt, ausser Acht gelassen werden kann. Uebersteigt aber der Temperaturwechsel jene Grenze oder handelt es sich darum, nicht bloss das relative, sondern vielmehr das absolute Volumen eines Gases zu bestimmen, so muss die drückende Quecksilbersäule $(b - b_1)$ von der Beobachtungstemperatur t auf 0°C. reducirt werden, indem man für $(b - b_1)$ den Ausdruck

$$\frac{(b - b_1) (1 + \alpha t)}{(1 + \beta t)} \text{ oder auch } (b - b_1) (1 + [\alpha - \beta] t)$$

substituirt, worin α den linearen Ausdehnungscoefficienten des Glases zwischen 0° und 100°C. , nämlich 0.0000092, und β den cubischen Dilatationscoefficienten des Quecksilbers 0.0001815 bedeutet. So werden z. B. für das eben angeführte Rechnungsbeispiel die Drucksäulen 0.4922 und 0.4807 nach einer solchen Reduction auf 0° 0^m49049 und 0^m47903. Um dieser weitläufigen Rechnung überhoben zu sein, bedient man sich der Correctionstabelle IV., in welcher beide Ausdehnungen, sowohl die des Quecksilbers als auch die des Glases berücksichtigt sind. Die erste Verticalcolumnne enthält die Länge der von fünf zu fünf Millimetern beobachteten Drucksäule, die folgenden Columnnen die Verlängerung dieser Drucksäulen für Temperaturerhöhungen von 0° auf $1^\circ, 2^\circ, 3^\circ, 4^\circ, 5^\circ, 6^\circ, 7^\circ, 8^\circ, 9^\circ$ der Centesimalscala.

Der Gebrauch der Tabelle ergiebt sich leicht aus einem Beispiel. Es sei der bei $23^\circ 4 \text{C.}$ beobachtete Quecksilberdruck 0.7105 auf 0° zu reduciren. Der diesem Druck 0.7105 in der Tabelle am nächsten kommende ist 0.7100. Nun sind die Intervalle der Tabelle so gewählt, dass im Verhältniss zur Genauigkeitsgrenze der Beobachtungen die der gemessenen am nächsten kommende Quecksilber-

säule durch die Temperaturänderung nicht erheblich mehr verändert wird, als die beobachtete selbst. Man kann daher die Zahl, welche von der Drucksäule 0.7100 abgezogen werden muss, um die Länge zu erhalten, welche sie gehabt haben würde, wenn sie bei 0° beobachtet worden wäre, auch für die beobachtete Länge 0.7105 gelten lassen, ohne die Grenze der Beobachtungsfehler zu überschreiten. Für die Verkürzung der Drucksäule 0.7105 durch Abkühlung von 23.4 auf 0° ergibt sich daher

für 20.0°	2.4296 ^{mm}
„ 3.0	0.3644
„ 0.4	0.0186
also für 23.4° C.	2.8126 ^{mm}

Diese 2.8126^{mm} von 0.7105 abgezogen, geben für den auf 0° reducirten Druck 0.70769^m.

Zweiter Abschnitt.

Gasometrische Analyse.

Eine der wichtigsten Aufgaben, welche die Gasometrie zu lösen hat, besteht darin, die Elementarbestandtheile eines einzigen brennbaren Gases von unbekannter Zusammensetzung ihrer Natur, ihrem Volumen und ihrer Verdichtung nach zu bestimmen. Geht man bei dieser Aufgabe von dem complicirtesten Falle aus, dass in einem Volumen eines Gases x Vol. Kohlenstoffdampf, y Vol. Wasserstoff, z Vol. Sauerstoff und n Vol. Stickstoff enthalten sind, so hat man zur Berechnung dieser Grössen x , y , z und n vier Gleichungen nöthig. Um diese vier Gleichungen zu erhalten, genügt es, von der zu untersuchenden Gasart ein Volumen V zu verbrennen und 1) die bei der Verbrennung eintretende Contraction C , 2) den gebildeten Wasserdampf Y , 3) die gebildete Kohlensäure X , und 4) den ausgeschiedenen Stickstoff S zu bestimmen.

Der in der Volumeneinheit des Gases enthaltene Kohlenstoffdampf x giebt $2x$ Kohlensäure, V Volumina geben mithin $2xV$. Man hat daher

$$X = 2xV \text{ oder } x = \frac{X}{2V}.$$

Das in einem Volumen des Gases enthaltene Wasserstoffvolumen y giebt y Volumina Wasserdampf, V Vol. geben daher Vy . Daraus folgt

$$Y = y V \text{ oder } y = \frac{Y}{V}.$$

Da ferner in der Volumeneinheit des Gases n Volumina Stickstoff enthalten sind, V Volumina aber Vn Stickstoff enthalten, so ist

$$S = Vn \text{ oder } n = \frac{S}{V}.$$

Das Volumen des Gases vor der Verbrennung endlich setzt sich aus dem zu untersuchenden Gasvolumen 1 und dem überschüssig zugesetzten Sauerstoffvolumen O zusammen. Das nach der Verbrennung übrig bleibende Gasvolumen ist gleich dem ursprünglich vorhandenen Sauerstoffvolumen O , minus dem zur Kohlensäurebildung nöthigen Sauerstoffvolumen $2x$, minus dem zur Wasserbildung erforderlichen Sauerstoffvolumen $\frac{1}{2}y$, plus dem gebildeten Kohlensäurevolumen $2x$, plus dem im ursprünglichen Gase enthaltenen Sauerstoffvolumen z , plus dem bei der Verbrennung aus dem Gase abgeschiedenen Stickstoffvolumen n . Man hat daher für das angewandte Gasvolumen V , wenn man die für x und y gefundenen Werthe substituirt:

als Vol. vor der Verbrennung $V + O$,

als Vol. nach der Verbrennung $Vz + O + X - X - \frac{Y}{2} + S$.

Zieht man den oberen Ausdruck von dem unteren ab, so erhält man für das verschwundene Gasvolumen

$$C = V - Vz + \frac{Y}{2} - S \text{ oder } z = 1 + \frac{Y}{2V} - \frac{C}{V} - \frac{S}{V}.$$

Um V , X , Y , S , C durch den Versuch zu bestimmen, bringt man von dem zu untersuchenden Gase V Volumina in das Verbrennungseudiometer, fügt die zur Verbren-

nung nöthige Menge Sauerstoff O hinzu und entzündet das Gemenge. Das bei der Verbrennung verschwundene reducirte Gasvolumen ist C . Das Eudiometer wird nun in dem, gleich weiter zu beschreibenden Apparate einer Temperatur von 100° C. ausgesetzt. Die Differenz der reducirten, vor der Erhitzung und nach der Erhitzung gemessenen Gasvolumina ist Y . Mittelt einer Kalikugel wird nun das Kohlensäurevolumen X bestimmt. Der Rückstand im Eudiometer besteht nur aus Stickstoff, vermengt mit einer unbekannten Menge überschüssigen Sauerstoffs. Dieser, durch Verbrennung mit Wasserstoff bestimmt und abgezogen, giebt das Stickstoffvolumen S .

Hat man sich durch chemische Reactionen überzeugt, dass das Gas keinen Sauerstoff enthält, dass also $z = 0$ ist, so wird

$$0 = 1 + \frac{Y}{2V} - \frac{C}{V} - \frac{S}{V},$$

und wenn man den Werth Vy für Y substituirt, so erhält man

$$0 = 1 + \frac{y}{2} - \frac{C}{V} - \frac{S}{V} \text{ oder } y = 2 \left(\frac{C}{V} + \frac{S}{V} - 1 \right).$$

Mit Hülfe dieser Gleichung lässt sich daher das in der Volumeneinheit eines sauerstofffreien Gases enthaltene Wasserstoffvolumen aus der Contraction berechnen, ohne dass man nöthig hat, das Wasserdampfvolumen Y direct zu bestimmen. Die Methode gilt für Stickstoff, Sauerstoff, Wasserstoff und alle Gase von folgender Zusammensetzung:

$$n \text{ Vol. } C + n_1 \text{ Vol. } N = 1 \text{ Vol.}$$

$$n \text{ „ } C + n_1 \text{ „ } O = 1 \text{ „}$$

$$n \text{ „ } C + n_1 \text{ „ } H = 1 \text{ „}$$

$$n \text{ „ } H + n_1 \text{ „ } O = 1 \text{ „}$$

$$n \text{ „ } H + n_1 \text{ „ } N = 1 \text{ „}$$

$$n \text{ „ } N + n_1 \text{ „ } O = 1 \text{ „}$$

$$n \text{ Vol. } C + n_1 \text{ Vol. } H + n_2 \text{ Vol. } O = 1 \text{ Vol.}$$

$$n \text{ „ } C + n_1 \text{ „ } H + n_2 \text{ „ } N = 1 \text{ „}$$

$$n \text{ „ } H + n_1 \text{ „ } O + n_2 \text{ „ } N = 1 \text{ „}$$

$$n \text{ „ } C + n_1 \text{ „ } O + n_2 \text{ „ } N = 1 \text{ „}$$

$$n \text{ „ } C + n_1 \text{ „ } H + n_2 \text{ „ } O + n_3 \text{ Vol. } N = 1 \text{ Vol.}$$

Man sieht, dass sich unter den aufgeführten Gasen einzelne finden, nämlich O und $n \text{ Vol. } N + n_1 \text{ Vol. } O = 1 \text{ Vol.}$, welche keinen mit Sauerstoff verbrennbaren Bestandtheil enthalten. Bei solchen Gasen muss man Wasserstoff statt des Sauerstoffs zur Verbrennung anwenden. Ist das Anfangsvolumen V , das bei der Verbrennung verschwundene Gasvolumen C und das gefundene rückständige Stickstoffvolumen S , so ergeben sich durch eine ganz ähnliche Betrachtung die Gleichungen

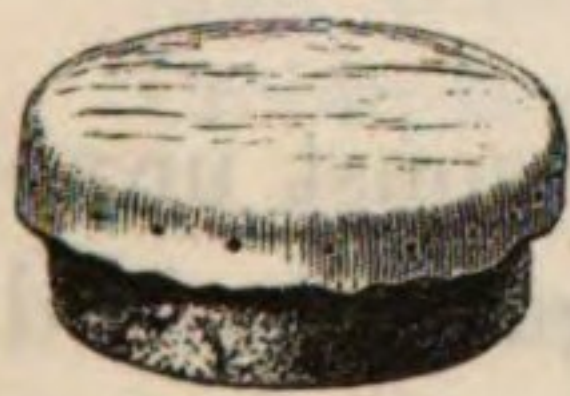
$$V(1 + 2z - n) = C$$

$$Vn = S$$

$$\text{oder } z = \frac{C + S - V}{2V}; n = \frac{S}{V}.$$

Alle zur Analyse nöthigen Gasverbrennungen dürfen nur in verschlossenen Eudiometern vorgenommen werden. Zu diesem Verschluss dient eine mit dickem vulcanisirten Kautschuk überzogene Korkplatte, Fig. 31, die so gestaltet ist, dass sie fest auf der Bodenwölbung der Quecksilberwanne aufliegt. Gegen diese Platte wird das Eudiometer mit seinem offenen, unter Quecksilber befindlichen Ende gepresst und mittelst eines Halterarms, in welchem sich eine mit Kork ausgefüllte Vertiefung befindet, festgeklemmt.

Fig. 31.

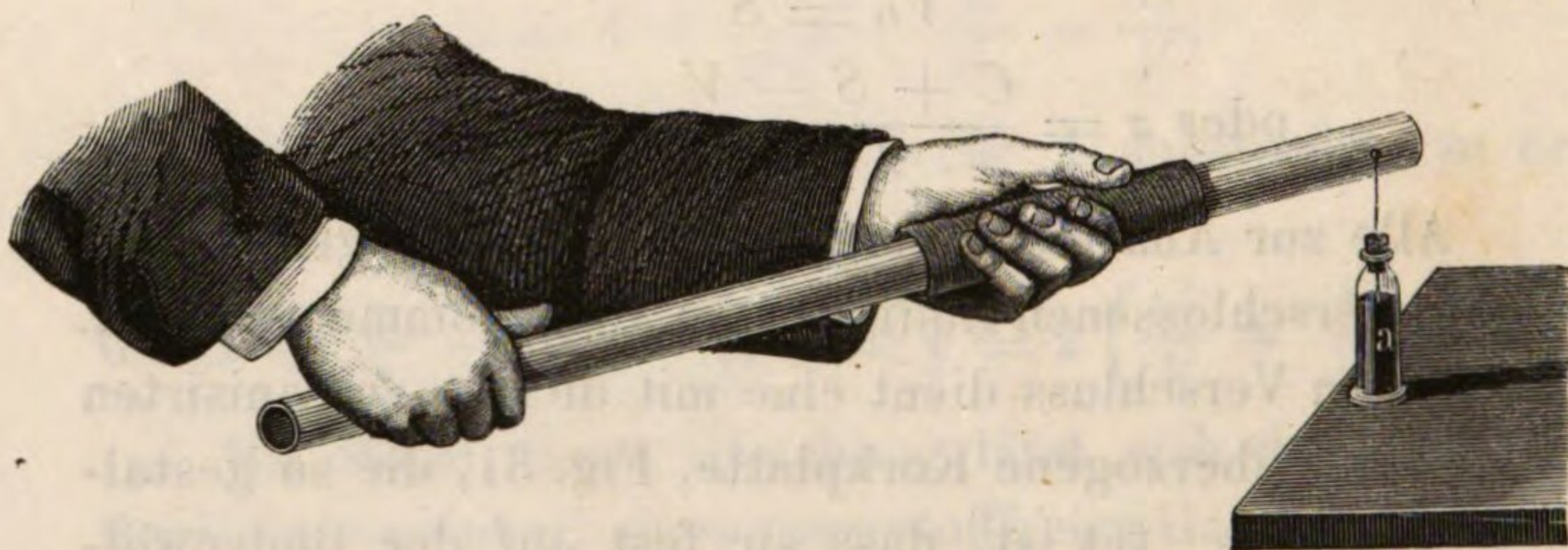


Die Luftschicht, welche unter dem Quecksilber an der Kautschukoberfläche haften bleibt, kann zu den größten Irrthümern Veranlassung geben, wenn von ihr aus nach der Explosion bei dem Lüften der Eudiometeröffnung

unter Quecksilber kleine Luftblasen aufgesogen werden, die sich mit dem zu messenden Inhalte des Instrumentes vermischen. Man kann sich sehr leicht vor diesem Fehler sichern, wenn man die Kautschukplatte jedesmal vor dem Gebrauche mit einer verdünnten Sublimatlösung benetzt. Es bildet sich dann eine zarte Schlammschicht von Quecksilberchlorür auf dem Kautschuk, welche eine vollständige Adhäsion des Quecksilbers an demselben vermittelt und jede Luftadhäsion beseitigt.

Die Entzündung des Gasgemenges geschieht stets durch den elektrischen Funken. Als Leidener Flasche dient ein kleiner, nur etwa 3 Zoll hoher und 1 Zoll weiter Glascylinder *a*, Fig. 32, der inwendig mit Stanniol,

Fig. 32.



auswendig aber, um die bei dem Gebrauche sonst unvermeidliche Amalgamirung der äusseren Belegung und die dadurch bewirkte höchst nachtheilige Quecksilberverunreinigung zu vermeiden, mit Platinfolie belegt ist. Elektrophore oder gewöhnliche Elektrisirmaschinen pflegen in dem nach Norden gelegenen feuchten und kalten Gaslaboratorium sehr bald ihren Dienst zu versagen. Man wendet daher zum Laden der Flasche besser eine andere

elektrische Vorrichtung an, die an Stärke und Beständigkeit ihrer Wirkungen nichts zu wünschen übrig lässt. Dieselbe besteht ganz einfach in einer Porzellanröhre, die man nur vor dem eisernen Knopfe der kleinen Flasche mit einem auf Seide gestrichenen Amalgam *) zu reiben braucht, um nach wenigen Secunden aus dem Fläschchen fast zolllange Funken zu erhalten.

Um das bei der Verbrennung im Eudiometer erzeugte Wasser in Dampfgestalt zu messen, dient folgende Vorrichtung. Der eiserne, zur Hälfte mit Wasser gefüllte Kessel *A*, Fig. 33 (a. f. S.), ist mit einem langen gläsernen Cylinder *cc* versehen, von dessen mit dem Abzugsrohre *o* versehenen Deckel *d* der zur Aufnahme des Eudiometers *e* bestimmte Träger *ff* herabhängt. Will man das bei der Verbrennung gebildete Wasser als Dampf dem Volumen nach messen, so stellt man das Eudiometer in das zur Hälfte mit Quecksilber gefüllte Glas *i* und bringt es mittelst des Trägers *ff* in den Glascylinder *cc*, durch welchen von dem Kessel *A* aus ein rascher Dampfstrom geleitet wird. Die dadurch hervorgebrachte Temperatur von

*) Das Amalgam, mit dem man die 2 Fuss lange und $1\frac{1}{2}$ Zoll dicke Porzellanröhre, welche den Dienst einer ziemlich grossen Elektrisirmaschine leistet, reibt, wird auf folgende Art bereitet: Man erhitzt zwei Theile Quecksilber in einem gewöhnlichen Probirgläschen und löst darin unter stetem Umrühren einen Theil dünnes Zinkblech und einen Theil Stanniol auf. Das erhaltene Amalgam wird noch, um es geschmeidiger zu machen, sechs bis acht Mal unter stetem Umrühren umgeschmolzen und auf ein Stück dickes, am besten gewirktes Seidenzeug, das als Reibzeug dient, aufgetragen. Bei dem Reiben der Porzellanröhre legt man das Seidenzeug so um dieselbe, dass die reibende Seidenfläche nur zur Hälfte mit Amalgam bedeckt ist, zur Hälfte frei bleibt. Die ausgezeichnete Wirksamkeit des Amalgams tritt gewöhnlich erst nach einiger Zeit ein und erhält sich dann Monate lang unverändert.

100° C. ist zur Verdampfung des im Eudiometer enthaltenen Wassers ausreichend, da dasselbe in Folge der

Fig. 33.



dem Atmosphärendruck entgegenwirkenden Quecksilbersäule im Eudiometer erheblich unter 100° C. kocht.

Ich gebe zunächst als Beispiel einer solchen Bestimmung eine von Herrn Quincke in meinem Laboratorium ausgeführte Analyse des Gases, welches bei dem Erhitzen eines Gemenges von vier Theilen Schwefelsäure mit einem Theile Methylalkohol entsteht. Dasselbe

wurde vor dem Auffangen mit Wasser und Aetzkalilösung gewaschen, und längere Zeit, um es von den letzten Spuren schwefliger Säure und Kohlensäure zu befreien, mit feuchtem Aetzkali in Berührung gelassen.

Der grösseren Genauigkeit wegen wurden zwei Portionen analysirt, jedoch nur in der einen das Volumen

des Wasserdampfes, in der anderen dagegen zugleich das Volumen des Stickstoffs bestimmt.

	Vol.	Druck.	Temp. C.	Vol. bei 0° und 1 ^m Druck.
1) Anfängliches Volumen.	79.6	0.3140	4.0	24.63
2) Nach Zulassung von				
Sauerstoff	327.2	0.5615	5.0	180.42
3) Nach der Explosion .	268.7	0.4915	4.9	129.74
4) Nach der Erhitzung				
auf 100° C. . . .	418.1	0.6752	99.5	206.95
5) Beobachtung 3) wie-				
derholt	268.2	0.4914	3.7	129.47
6) Nach Absorption der				
Kohlensäure . . .	193.3	0.4188	0.7	80.75

Daraus ergibt sich:

Anfängliches Volumen	$V = 24.63$	oder 1.0000
Contraction bei der Verbrennung	$C = 50.68$	„ 2.0576
Gebildeter Wasserdampf . . .	$Y = 77.35$	„ 3.1405
Gebildete Kohlensäure . . .	$X = 48.72$	„ 1.9781

In Beziehung auf diese Daten ist zu bemerken, dass das anfängliche Gasvolumen und der zugesetzte Sauerstoff wasserfrei in einem sorgfältig getrockneten, mit trockenem Quecksilber gefüllten Eudiometer gemessen wurden. Die Quecksilberdrucke sind sämtlich auf 0° C. reducirt.

4) ist aus folgenden directen Ablesungen abgeleitet:	
Barometerstand bei 5.1° C.	745.9
Quecksilbersäule im Eudiometer	73.0
Wassersäule über dem Quecksilber im Gefäss <i>i</i> .	22.4
Temperatur des Wasserdampfes	99.5
Abgelesenes, nach der Kalibrirungstabelle corrigir-	
tes Gasvolumen	417.0

Die Wassersäule 22.4 entspricht dem Quecksilberdruck

$$\frac{22.4}{13.44} = 1.7^{\text{mm}}.$$

Die dem Barometerdruck entgegenwirkende, bei 99.5 gemessene Quecksilbersäule $73 - 1.7 = 71.3^{\text{mm}}$ beträgt daher, auf 0°C. reducirt, 70.1^{mm} . Diese von dem von $5^{\circ}.1$ auf 0°C. reducirten Barometerstande 745.3^{mm} abgezogen, lässt 675.8^{mm} .

Der Coëfficient der cubischen Ausdehnung des Glases zwischen 0° und 100° ist, nach Dulong und Petit, 0.00002583. Der von dem Gase erfüllte Hohlraum des Eudiometers 417.0 ist daher durch die Erhitzung von 0°C. auf 99.5°C. zu $(1 + 0.0000258 \times 99.5^{\circ}) 417.0 = 418.1$ ausgedehnt.

Bei Wiederholung derselben Analyse zur Stickstoffbestimmung wurde erhalten:

	Vol.	Druck.	Temp. C.	Vol. bei 0° und 1 ^m Druck.
Anfängliches Volumen .	50.6	0.1419	1.4	7.14
Nach Zulassung von				
Sauerstoff	199.8	0.3112	2.6	61.59
Nach der Explosion . .	172.4	0.2738	3.7	46.57
Nach der Absorption				
der Kohlensäure . .	132.8	0.2409	3.9	31.54
Nach Zulassung von				
Wasserstoff	547.3	0.6955	2.6	377.06
Nach der Explosion . .	466.6	0.6126	1.5	284.28

Daraus folgt:

Anfängliches Gasvolumen . . .	$V =$	7.14 oder 1.0000
Contraction bei der Verbrennung	$C =$	15.02 „ 2.1036
Gebildete Kohlensäure . . .	$X =$	15.03 „ 2.1050
Stickstoff	$S =$	0.61 „ 0.0854

Der Stickstoffgehalt des Gases ist so gering, dass er den unvermeidlichen Beobachtungsfehlern oder einer kleinen Luftverunreinigung zugeschrieben werden kann.

Man erhält daher als Mittel aus beiden Analysen folgende Werthe:

$$V = 1.000$$

$$C = 2.081$$

$$Y = 3.141$$

$$X = 2.042$$

$$n = 0.000$$

In 1 Vol. des Gases sind daher enthalten:

$$\text{Kohlenstoffdampf } x = \frac{X}{2V} \dots \dots \dots = 1.021$$

$$\text{Wasserstoff } \dots y = \frac{Y}{V} \dots \dots \dots = 3.141$$

$$\text{Sauerstoff } \dots z = \frac{1}{V} (V - \frac{1}{2} Y - S - C) = 0.490$$

$$n = S \dots \dots \dots = 0.000$$

1 Vol. des Gases besteht daher aus

	Gefunden.	Berechnet.
Kohlenstoffdampf . .	1.02	1.03
Wasserstoff	3.14	3.10
Sauerstoff	0.49	0.52

Als weiteres Beispiel der Analyse eines Gases, welches nur Sauerstoff und Stickstoff ohne Kohlenstoff und Wasserstoff enthält, wähle ich Stickoxyd. Dasselbe wurde aus Salpetersäure und Kupfer entwickelt und in eine concentrirte Lösung von Eisenvitriol geleitet. Bei nachherigem Erhitzen der so gesättigten Lösung erhält man das Gas rein, wenn man es vermeidet, die zuletzt entweichenden Antheile aufzufangen.

Da das Stickoxydgas, ganz im Gegensatze mit den darüber in fast allen Lehrbüchern verbreiteten Angaben,

nicht für sich mit Wasserstoff entzündet werden kann, so muss man demselben vor der Verbrennung mit diesem Gase ein gemessenes Volumen Stickoxydul beimischen.

Die nachstehende, ebenfalls von Herrn Quincke ausgeführte Analyse ist auf diese Weise angestellt.

	Vol.	Druck.	Temp. C.	Vol. bei 0° und 1 ^m Druck.
Stickstoffoxyd . . .	101.3	0.2105	4.4	20.99
Mit Stickoxydul . . .	264.1	0.3944	4.6	102.44
Mit Wasserstoff . . .	423.5	0.5630	5.3	233.90
Nach Explosion . . .	294.5	0.4261	5.3	123.10
Mit Sauerstoff . . .	351.3	0.4864	5.3	167.62
Nach Explosion . . .	292.5	0.4247	4.8	122.08

Aus dem angewandten Volumen des Stickoxyds ergibt sich $V = 20.99$. Auf Kosten der zugesetzten 81.45 Stickoxydul musste bei der Verbrennung eine Contraction von 81.45 erfolgen. Stickoxyd und Stickoxydul gaben aber zusammengenommen eine Contraction von 110.8. Die dem Stickoxyd allein zukommende Contraction beträgt daher $C = 110.8 - 81.45 = 29.35$. Das nach der ersten Explosion zurückbleibende Volumen 123.10 kann nur aus freiem Stickstoff und Wasserstoff bestehen. Der letztere ergibt sich aus der bei der zweiten Verbrennung mit Sauerstoff beobachteten Contraction zu $\frac{2}{3} \times 45.54 = 30.36$. Der aus den beiden stickstoffhaltigen Gasen abgeschiedene Stickstoff betrug daher $123.10 - 30.36 = 92.74$; 81.45 davon gehören dem Stickstoffoxydul an, der Rest war in dem angewandten Stickstoffoxyd enthalten. Man hat daher $S = 11.29$. Aus V , C und S aber ergibt sich mit Hülfe der Gleichungen $n = \frac{S}{V}$ und $z = \frac{C + S - V}{2V}$ die nachstehende Zusammensetzung:

Gefunden.	Berechnet.
$n = 0.52$	0.5
$z = 0.47$	0.5
0.99	1.0

Eine zweite Classe von gasometrischen Aufgaben bezieht sich auf die Scheidung gemengter Gase von bekannter Zusammensetzung. Wenn sich auch die dabei zu befolgenden Trennungsmethoden im Wesentlichen nach der speciellen Natur der zu scheidenden Gase richten müssen, so ist doch die Reihenfolge, in der sie zur Anwendung kommen, im Allgemeinen dieselbe.

Man beginnt mit der Absorption derjenigen Gase, welche sich leicht zerstören oder in Verbindungen überführen lassen. Die Analyse des unabsorbirt gebliebenen Gasrückstandes, der gewöhnlich ausser Stickstoff nur noch brennbare Bestandtheile enthält, bildet den zweiten Theil der Untersuchung. Zu solchen absorptiven Bestimmungen dient das S. 25 abgebildete Schnabelrohr Fig. 18. Als Absorptionsmittel können nur solche Substanzen benutzt werden, welche entweder gar keine oder eine scharf bestimmbare Dampftension besitzen. Um sie ohne Luftzutritt mit dem Gase in Berührung zu bringen, giebt man ihnen die Gestalt kleiner Kugeln, die mittelst eines daran befindlichen Platindrahtes durch das Quecksilber in das Absorptionsrohr emporgeschoben werden.

Solche Kugeln werden, wenn sie aus schmelzbaren Substanzen bestehen, in gewöhnlichen eisernen Kugelformen gegossen, deren Eingusscanal man durch Abfeilen zuvor entfernt hat. Der mit einer kleinen Umbiegung versehene Platindraht wird vertical in die Form gesenkt und das geschmolzene Absorptionsmittel unter der Vorsichtsmaassregel eingegossen, dass die in der Gussöffnung durch Zusammenziehung der erstarrenden Masse

entstehende kleine Vertiefung durch Nachgiessen fortwährend wieder ausgefüllt wird. Es ereignet sich oft, dass die Kugel beim Oeffnen der erkalteten Form in zwei Theile zerreisst. Dies vermeidet man leicht dadurch, dass die Form vor dem Oeffnen einige Augenblicke in der Flamme einer Spirituslampe erhitzt wird. Körper, die nicht schmelzbar sind, werden zum feinsten Pulver zerrieben, und die mit Wasser zu einem Brei angemengte Masse derselben in die Kugelform um den darin befindlichen Platindraht gepresst, wodurch sie nach dem Trocknen hinlängliche Festigkeit erlangen, um sie durch das Quecksilber emporführen zu können. So bereitete Kugeln bieten indessen nicht selten den Uebelstand dar, dass sie erhebliche Gasmengen in ihren Poren absorbiren. Sie lassen sich in diesem Falle nur dann benutzen, wenn sie zuvor mit einer für Gasabsorption unempfindlichen Flüssigkeit, z. B. mit concentrirter syrupecker Phosphorsäure oder dergleichen, durchtränkt werden. Handelt es sich darum, Flüssigkeiten auf das Gas einwirken zu lassen, so wendet man mit Platindrähten versehene Coaks-kugeln an, welche porös genug sind, um eine zur Absorption hinreichende Flüssigkeitsmenge aufzunehmen. Dieselben werden aus einem fein pulverisirten Gemenge von ungefähr 1 Theil fetter, möglichst schwefelkiesfreier Steinkohle und 2 Theilen Coaks angefertigt. Man schüttet diese Masse um den Platindraht in die noch mit ihrem Eingusscanal versehene Kugelform und erhitzt die letztere langsam zwischen Kohlen bis zum stärkeren Rothglühen. Wird die Masse zu porös oder noch nicht hinlänglich fest, so tränkt man die zuvor über 100° erhitzte Kugel in concentrirten Zuckersyrup oder in Steinkohlen-theer und glüht sie darauf in der offenen Flamme einer Glasbläserlampe noch einmal stark aus. Vor dem Ge-

brauche müssen solche Kugeln stets mit Königswasser ausgezogen werden, um die darin möglicher Weise vorhandenen Metalle und Schwefelmetalle zu entfernen. Statt der Coaksmasse ist es oft vortheilhaft, Papiermaché anzuwenden, das man aus Löschpapier bereitet und um den Platindraht in eine noch mit Eingusscanal versehene Kugelform stampft oder presst.

Obgleich das ganze Volumen solcher Kugeln gewöhnlich kaum mehr als einen Theilstrich der Absorptionsröhre einzunehmen braucht, so kann doch die an der Oberfläche adhärende atmosphärische Luft leicht einen Fehler von 0.05 bis 0.1 Theilstrichen zur Folge haben. Um diesen übrigens schon verschwindend kleinen Fehler noch mehr zu verringern, taucht man die zuvor befeuchtete, zwischen Zeigefinger, Daumen und Mittelfinger gehaltene Kugel unter das Quecksilber, streift die Luft mit den Fingern nach dem Draht hin ab und lässt diesen zwischen Daumen und Zeigefinger emporgleiten, bis die Kugel unter dem Quecksilber an der Wandung des Absorptionsrohrs zum Vorschein kommt: Erscheint sie nur an einem Pünktchen sichtbar, so kann man sie bis in das Gas emporschieben; ist sie dagegen mit einer grösseren Luftblase umgeben, so zieht man sie zurück, um die Operation von Neuem zu wiederholen. Bei dem Entfernen der Kugel aus dem Gase zieht man sie stossweise unter das Quecksilber, bis sie ebenfalls an der Glaswandung nur an einem kleinen Pünktchen erkennbar ist. Werden diese Vorsichtsmaassregeln gehörig beobachtet, so lässt sich eine solche Kugel sechs bis acht Mal ein- und ausführen, ohne dass an dem zu messenden Gasvolumen eine Veränderung bemerkbar wird.

Die Absorptionsmittel in flüssiger Form anzuwenden, ist in den meisten Fällen völlig verwerflich, da die Gase

von denselben je nach ihren relativen Mengungsverhältnissen und Absorptionscoëfficienten verschluckt werden. Betrug das zur Analyse verwendete Gasvolumen V nach Absorption des ersten Gases noch V_1 , nach der des zweiten V_2 und nach der des n^{ten} V_n , so besteht das Gas aus $V - V_1$ des ersten, $V_1 - V_2$ des zweiten, $V_2 - V_n$ des n^{ten} Gases und aus V_n eines Gemenges nicht absorbirbarer ganz oder zum Theil entzündlicher Gase. Enthält dies Gemenge vier brennbare Bestandtheile, X, Y, Z, W , so können dieselben in den meisten Fällen dadurch bestimmt werden, dass man einen Theil P des Gases V_n in das Verbrennungseudiometer überfüllt, mit Sauerstoff verpufft und das gebildete Kohlensäurevolumen, den verbrannten Sauerstoff und das erzeugte Wasserdampfvolumen, ganz wie oben angegeben wurde, ermittelt.

Die einzelnen Volumina der Gemengtheile des gemessenen Gasvolumens P seien x, y, z, w , das Kohlensäurevolumen, welches von der Einheit eines jeden dieser Gemengtheile durch Verbrennung erhalten wird, a_1, b_1, c_1, d_1 , die Sauerstoffvolumina, welche zur Verbrennung derselben Einheiten nöthig sind oder, wenn man es vorzieht, die Contraction, welche bei der Verbrennung dieser Einheiten eintritt, a_2, b_2, c_2, d_2 , das Volumen des aus diesen Einheiten bei der Verbrennung erzeugten Wasserdampfes a_3, b_3, c_3, d_3 . Es sei ausserdem durch Versuche bestimmt P_1 das Gesamtvolumen der aus P durch Verbrennung erhaltenen Kohlensäure, ferner P_2 die zu dieser Verbrennung nöthige Sauerstoffmenge, und endlich P_3 das aus der Gasmenge P durch Verbrennung erzeugte Wasserdampfvolumen, so ergeben sich die Werthe von x, y, z, w aus folgenden Gleichungen, in denen a, b, c und $d = 1$ zu setzen sind.

$$P = a X + b Y + c Z + d W$$

$$P_1 = a_1 X + b_1 Y + c_1 Z + d_1 W$$

$$P_2 = a_2 X + b_2 Y + c_2 Z + d_2 W$$

$$P_3 = a_3 X + b_3 Y + c_3 Z + d_3 W$$

$$X = \frac{1}{\Delta} (PA + P_1 A_1 + P_2 A_2 + P_3 A_3)$$

$$Y = \frac{1}{\Delta} (PB + P_1 B_1 + P_2 B_2 + P_3 B_3)$$

$$Z = \frac{1}{\Delta} (PC + P_1 C_1 + P_2 C_2 + P_3 C_3)$$

$$W = \frac{1}{\Delta} (PD + P_1 D_1 + P_2 D_2 + P_3 D_3)$$

$$A = b_1 (c_2 d_3 - c_3 d_2) + b_2 (c_3 d_1 - c_1 d_3) + b_3 (c_1 d_2 - c_2 d_1)$$

$$A_1 = b_2 (c_3 d - c d_3) + b_3 (c d_2 - c_2 d) + b (c_2 d_3 - c_3 d_2)$$

$$A_2 = b_3 (c d_1 - c_1 d) + b (c_1 d_3 - c_3 d_1) + b_1 (c_3 d - c d_3)$$

$$A_3 = b (c_1 d_2 - c_2 d_1) + b_1 (c_2 d - c d_2) + b_2 (c d_1 - c_1 d)$$

$$B = c_1 (d_2 a_3 - d_3 a_2) + c_2 (d_3 a_1 - d_1 a_3) + c_3 (d_1 a_2 - d_2 a_1)$$

$$B_1 = c_2 (d_3 a - d a_3) + c_3 (d a_2 - d_2 a) + c (d_2 a_3 - d_3 a_2)$$

$$B_2 = c_3 (d a_1 - d_1 a) + c (d_1 a_3 - d_3 a_1) + c_1 (d_3 a - d a_3)$$

$$B_3 = c (d_1 a_2 - d_2 a_1) + c_1 (d_2 a - d a_2) + c_2 (d a_1 - d_1 a)$$

$$C = d_1 (a_2 b_3 - a_3 b_2) + d_2 (a_3 b_1 - a_1 b_3) + d_3 (a_1 b_2 - a_2 b_1)$$

$$C_1 = d_2 (a_3 b - a b_3) + d_3 (a b_2 - a_2 b) + d (a_2 b_3 - a_3 b_2)$$

$$C_2 = d_3 (a b_1 - a_1 b) + d (a_1 b_3 - a_3 b_1) + d_1 (a_3 b - a b_3)$$

$$C_3 = d (a_1 b_2 - a_2 b_1) + d_1 (a_2 b - a b_2) + d_2 (a b_1 - a_1 b)$$

$$D = a_1 (b_2 c_3 - b_3 c_2) + a_2 (b_3 c_1 - b_1 c_3) + a_3 (b_1 c_2 - b_2 c_1)$$

$$D_1 = a_2 (b_3 c - b c_3) + a_3 (b c_2 - b_2 c) + a (b_2 c_3 - b_3 c_2)$$

$$D_2 = a_3 (b c_1 - b_1 c) + a (b_1 c_3 - b_3 c_1) + a_1 (b_3 c - b c_3)$$

$$D_3 = a (b_1 c_2 - b_2 c_1) + a_1 (b_2 c - b c_2) + a_2 (b c_1 - b_1 c)$$

$$\Delta = a A + a_1 A_1 + a_2 A_2 + a_3 A_3$$

$$= b B + b_1 B_1 + b_2 B_2 + b_3 B_3$$

$$= c C + c_1 C_1 + c_2 C_2 + c_3 C_3$$

$$= d D + d_1 D_1 + d_2 D_2 + d_3 D_3$$

oder wenn nur drei Gase zu bestimmen sind:

$$P = a X + b Y + c Z$$

$$P_1 = a_1 X + b_1 Y + c_1 Z$$

$$P_2 = a_2 X + b_2 Y + c_2 Z$$

$$X = \frac{1}{\Delta} (P A + P_1 A_1 + P_2 A_2)$$

$$Y = \frac{1}{\Delta} (P B + P_1 B_1 + P_2 B_2)$$

$$Z = \frac{1}{\Delta} (P C + P_1 C_1 + P_2 C_2)$$

$$A = b_1 c_2 - b_2 c_1$$

$$A_1 = b_2 c - b c_2$$

$$A_2 = b c_1 - b_1 c$$

$$B = c_1 a_2 - c_2 a_1$$

$$B_1 = c_2 a - c a_2$$

$$B_2 = c a_1 - c_1 a$$

$$C = a_1 b_2 - a_2 b_1$$

$$C_1 = a_2 b - a b_2$$

$$C_2 = a b_1 - a_1 b$$

$$\Delta = a A + a_1 A_1 + a_2 A_2$$

$$= b B + b_1 B_1 + b_2 B_2$$

$$= c C + c_1 C_1 + c_2 C_2$$

oder endlich für ein Gemenge von zwei Gasen:

$$P = a X + b Y$$

$$P_1 = a_1 X + b_1 Y$$

$$X = \frac{1}{\Delta} (P b_1 - P_1 b)$$

$$Y = \frac{1}{\Delta} (P_1 a - P a_1)$$

$$\Delta = a b_1 - a_1 b.$$

Enthält das Gasvolumen P als fünften Gemengtheil noch ein anderes, nicht entzündliches und nicht absorbirbares Gas, z. B. Stickstoff, so lässt sich auch dieses noch leicht finden, wenn man das Sauerstoffvolumen, welches nach der Verbrennung und Kohlensäureabsorption nur allein noch neben dem zu bestimmenden indifferenten Gase übrig geblieben ist, durch Verpuffen mit einem Ueberschuss von Wasserstoff ermittelt und von dem gesammten nach Absorption der Kohlensäure übrig gebliebenen Gasvolumen abzieht.

Hat man auf diese Weise gefunden, dass die vom Volumen V_n genommene Gasprobe P x, y, z, w, u Volumina der vorhandenen fünf Gase enthält, so ergeben sich durch eine einfache Proportion die in V_n enthaltenen Gemengtheile $X = \frac{V_n}{P} x, Y = \frac{V_n}{P} y, Z = \frac{V_n}{P} z, W = \frac{V_n}{P} w, U = \frac{V_n}{P} u$, welche mit den nicht verbrennlichen, durch Absorption bestimmten Gemengtheilen $V - V_1, V_1 - V_2, V_2 - V_n$ das zur Analyse verwandte Gasvolumen V_n zusammensetzen.

Nach diesen allgemeinen Betrachtungen können wir uns zu der Bestimmung der einzelnen Gase selbst wenden.

1. Stickstoff.

Man kann sehr leicht Stickstoff mit Sauerstoff direct zu Salpetersäure verbinden, wenn man beide Gase mit ihrem doppelten Volumen Knallgas verpufft. Beträgt das Knallgas das Drei- bis Fünffache, so entsteht eine solche Menge Salpetersäure, dass das mit dem verbrannten Gase in Berührung kommende Quecksilber unter Stickoxydentwicklung gelöst wird und die Eudiometerwandungen

sich bei dem Austrocknen des Gases mit Krystallen von salpetersaurem Quecksilberoxydul bedecken. Genaue Resultate lassen sich indessen durch eine solche Verbrennung nicht erzielen, weil dieselbe niemals vollständig vor sich geht und sowohl die Tension der gebildeten Salpetersäuredämpfe, als auch das auf Kosten dieser Säure entwickelte Stickoxyd eine genaue Messung unmöglich macht. Die nachstehenden, mit Gemischen von elektrolytischem Knallgas und atmosphärischer Luft angestellten Versuche zeigen die Grenzen, innerhalb welcher der Stickstoff sich noch mit dem Sauerstoff zu Salpetersäure verbindet.

	Vol.	Druck.	Temp. C.	Vol. bei 0 und 1 ^m Druck.
Angewandte Luft . .	275.2	0.4779	17.5	123.62
+ Knallgas . .	298.3	0.5006	17.7	140.24
Keine Explosion . .	298.3	0.5006	17.7	140.24
+ Knallgas . .	319.0	0.5210	17.7	156.09
Nach der Explosion . .	274.7	0.4784	17.2	123.64
+ Knallgas . .	331.1	0.5344	17.2	166.47
Nach der Explosion . .	272.1	0.4821	16.3	123.80
+ Knallgas . .	341.6	0.5521	16.3	177.67
Nach der Explosion . .	272.1	0.4824	16.7	123.70
Angewandte Luft . .	278.6	0.4895	16.7	128.52
+ Knallgas . .	361.0	0.5711	16.9	194.22
Nach der Explosion . .	278.6	0.4896	16.9	128.50
+ Knallgas . .	379.8	0.5912	17.3	211.17
Nach der Explosion . .	278.0	0.4899	16.6	128.40
Angewandte Luft . .	285.9	0.4985	16.4	134.45
+ Knallgas . .	409.7	0.6225	16.7	240.35
Nach der Explosion . .	285.2	0.4976	16.8	133.70
+ Knallgas . .	435.2	0.6488	16.8	266.00
Nach der Explosion . .	281.0	0.4921	16.7	130.32

	Vol.	Druck.	Temp. C.	Vol. bei 0° u. 1 ^m Dr.
Angewandte Luft . .	169.1	0.4407	6.3	72.84
+ Knallgas . .	378.5	0.6483	6.7	239.51
Nach der Explosion .	153.4	0.4342	6.5	65.06

100 Vol. Luft mit
13.45 Knallgas verbrannten daher nicht mehr.

100 Vol. Luft mit				
26.26 Knallgas verbrannt, hinterliessen 100.02 rückst. Luft				
34.66 " "			100.15	" "
43.72 " "			100.07	" "
51.12 " "			99.98	" "
64.31 " "			99.90	" "
78.76 " "			99.43	" "
97.84 " "			96.92	" "
226.04 " "			88.56	" "

Die Ungenauigkeit und Unsicherheit, welche fast alle älteren, auf gasometrischem Wege gewonnenen Resultate darbieten, haben hauptsächlich ihren Grund in dem Umstande, dass man bei den Gasverbrennungen diese Salpetersäurebildung unbeachtet gelassen hat. Man vermeidet sie leicht, wenn man den eben angeführten Versuchen zufolge auf 100 Vol. nicht brennbares Gas nie mehr als 26 bis 64 Vol. brennbares Gas anwendet.

Um zu sehen, ob ein Gas aus reinem Stickstoff besteht, oder ob es ausser diesem noch Sauerstoff oder ein brennbares Gas enthält, verfährt man auf folgende Weise: Man ermittelt zuerst, ob das Gas an und für sich entzündlich ist, indem man einen elektrischen Funken durch ein gemessenes Volumen desselben schlagen lässt. Findet keine Entzündung statt, so folgt daraus, dass keine grösseren Mengen eines brennbaren Gases neben Sauerstoff dem Stickgase beigemischt sind. Es werden

nun auf 100 Vol. des Gases ungefähr 40 Vol. Knallgas zugelassen und die Verbrennung bewirkt. Verändert sich dadurch das anfängliche Gasvolumen nicht, so ist mit Sicherheit anzunehmen, dass überhaupt kein Sauerstoff neben einem brennbaren Bestandtheile vorhanden war. Um sodann zu sehen, ob Sauerstoff ohne ein brennbares Gas vorhanden ist, fügt man Wasserstoff und so viel Knallgas hinzu, dass das anfängliche Volumen nebst dem zugesetzten Wasserstoff sich zu dem Knallgas wiederum ungefähr wie 100 : 40 verhält. Erhält man nach der Explosion das ursprüngliche Gas nebst dem zugesetzten Wasserstoff unverändert wieder, so beweist dies die Abwesenheit des Sauerstoffs, und es ist nur noch zu ermitteln, ob keine Spuren brennbarer Bestandtheile zugegen sind. Dies geschieht durch Verbrennung des Gasgemenges mit überschüssiger atmosphärischer Luft, die man in einem solchen Verhältniss hinzufügt, dass das aus dem zugesetzten Wasserstoff und dem Sauerstoff der Luft hervorgehende Knallgas gegen die übrigen nicht verbrennlichen Gase sich dem Volumen nach wie 26 bis 64 zu 100 verhält. Entsprechen $\frac{2}{3}$ des bei der Explosion dieses Gemenges verschwundenen Gases genau dem zugesetzten Wasserstoff, so kann man das untersuchte Gas als reinen Stickstoff betrachten.

Da die Gasvolumina im Eudiometer stets unter verschiedenem Druck abgelesen zu werden pflegen, das bei der Analyse zu beobachtende Verhältniss des verbrennenden Theiles zu dem nicht verbrennenden sich aber auf Gase von gleichem Druck bezieht, so würde jedesmal eine weitläufige Rechnung erforderlich sein, um die dem gewünschten Verhältniss entsprechende Knallgasmenge zu finden. Man vermeidet diese Weitläufigkeit dadurch, dass man ein- für allemal in das Eudiometer gleich grosse

Luftmengen aufsteigen lässt, den Quecksilberstand, der diesen successiv hinzutretenden Luftmengen entspricht, bestimmt und in einer Tabelle zusammenstellt, wobei man die Barometerstände sowie die kleinen unvermeidlichen Unterschiede in der Temperatur und im Quecksilberniveau der Wanne als unerheblich vernachlässigen kann. Es möge z. B. von den successiv zugesetzten gleich grossen Luftmassen

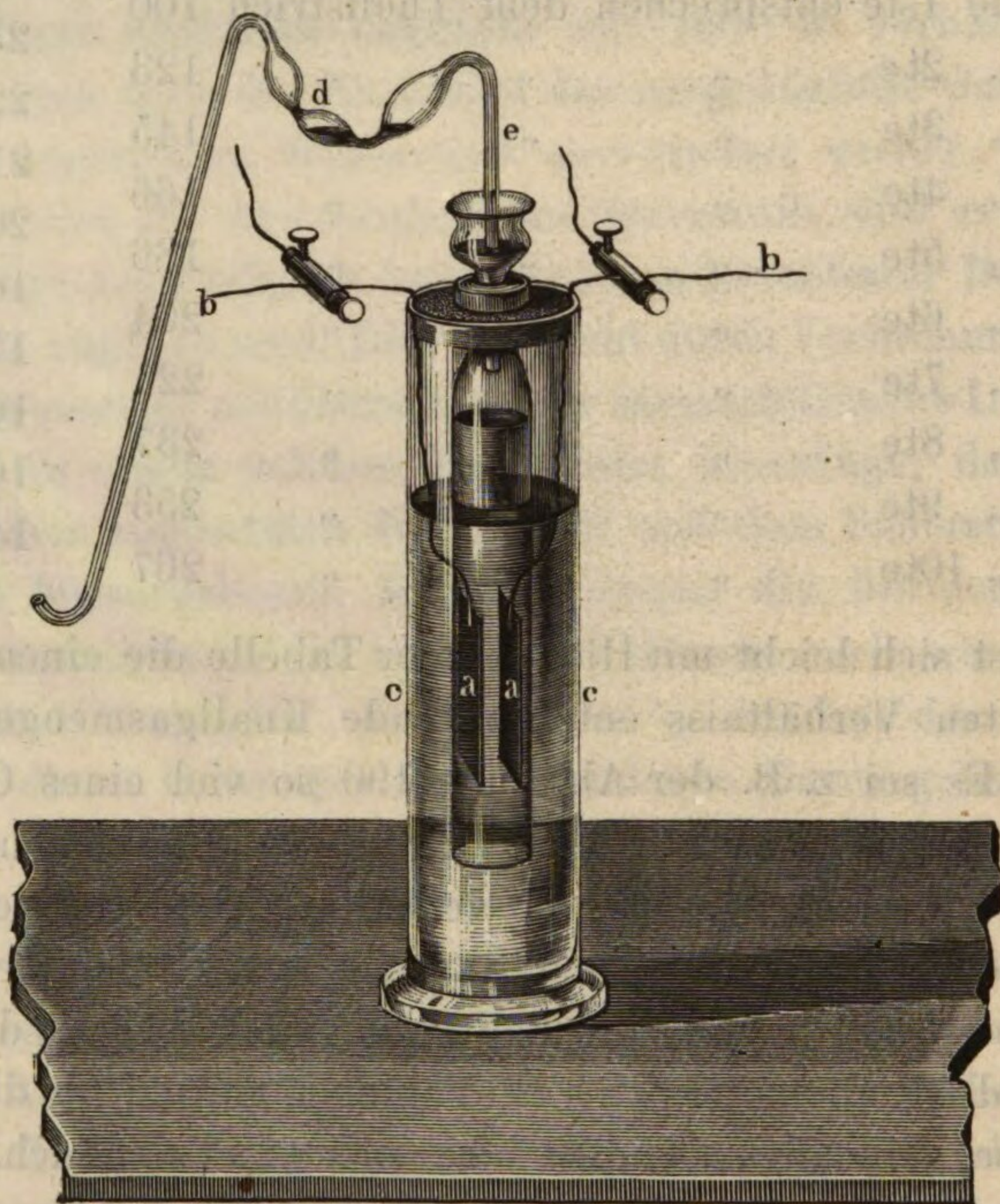
					Differenz
die 1ste	entsprechen	dem	Theilstrich	100	
„ 2te	„	„	„	123	23
„ 3te	„	„	„	145	22
„ 4te	„	„	„	166	21
„ 5te	„	„	„	186	20
„ 6te	„	„	„	204	18
„ 7te	„	„	„	221	17
„ 8te	„	„	„	237	16
„ 9te	„	„	„	253	16
„ 10te	„	„	„	267	14

so lässt sich leicht mit Hülfe dieser Tabelle die einem geforderten Verhältniss entsprechende Knallgasmenge finden. Es sei z. B. der Ablesung 190 so viel eines Gases hinzuzufügen, dass das Verhältniss des vorhandenen zum zugesetzten sich wie 100 : 30 verhalte. Die der Ablesung 190 in der vorstehenden Tabelle am nächsten kommende Zahl 186 entspricht 5 Vol. 18 Theilstriche sind aber an dieser Stelle des Eudiometers ein e m Volumen, und mithin die an 190 noch fehlenden 4 Theilstriche noch 0.22 Vol. gleich. Die Ablesung 190 entspricht daher einem auf den Atmosphärendruck reducirten Gasvolumen $5 + 0.22 = 5.22$. Da ferner $100 : 30 = 5.22 : 1.57$, so müssen, um dem geforderten Verhältniss zu genügen, 1.57 Volumina Knallgas hinzugefügt werden. Die Gesamtmenge des Gases muss

daher nach dem Knallgaszusatz $5.22 + 1.57 = 6.79$ betragen. Diesem Volumen entspricht aber in der Tabelle der durch eine ähnliche Interpolation gefundene Theilstrich 217.4. Man setzt daher so viel Gas hinzu, bis das Volumen diesem Theilstrich entspricht.

Das zu gasometrischen Zwecken dienende Knallgas wird durch Elektrolyse entwickelt und bildet eins der wichtigsten und unentbehrlichsten Hilfsmittel bei der Gas-

Fig. 34.



analyse. Man stellt es vermittelst des kleinen Apparates Fig. 34 dar.

Verbindet man die in zehnfach verdünnte chemisch reine Schwefelsäure eintauchenden Platinplatten *aa* mit-

telst der daran genietheten Platindrähte *bb* mit den Polen einer drei- bis vierpaarigen Zink-Kohlenkette, so entsteht ein regelmässiger Gasstrom, der jeden Augenblick durch Oeffnen der Kette unterbrochen werden kann. Es ist zweckmässig, den kleinen Apparat, wie es der Holzschnitt zeigt, mit einem nicht leicht gefrierenden Medium, z. B. mit Alkohol, mittelst des Glascyinders *cc* zu umgeben, um eine zu grosse Erhitzung der Zersetzungsflüssigkeiten und der Poldrähte zu verhindern und demselben ein- für allemal die der Höhe der Quecksilberwanne entsprechende Stellung zu geben. Da der Raum über der Flüssigkeit und in dem mit Wasser abgesperrten eingeschlossenen Ableitungsrohr *e*, welches in den Kugeln *d* etwas Schwefelsäure zum Waschen des Gases enthält, kaum einige Cubikcentimeter fasst, so lässt sich die im Apparate befindliche Luft durch eine nicht einmal fünf Minuten andauernde Gasentwicklung völlig austreiben. Der Einfluss, welchen die unter Umständen eintretende Bildung der höheren Oxydationsstufen des Wasserstoffs auf die Zusammensetzung des elektrolytischen Knallgases ausüben kann, ist bei diesem Apparate nicht zu befürchten, denn die Bildung der Wasserstoffsperoxyde findet nur bei dem Beginne der Gasentwicklung statt und hört auf, sobald die Zersetzungsflüssigkeit eine gewisse Menge davon enthält. Mit anderen, nicht entzündlichen Gasen verbrannt, verschwindet das elektrolytische Knallgas vollständig, ohne einen Rückstand von Wasserstoff oder Sauerstoff zu hinterlassen, wie die nachstehenden, unter sehr wechselnden Verhältnissen wiederholten Versuche zeigen:

	Vol.	Druck *).	Temp. C.	Vol. bei 0° und 1 ^m Druck.
Anfängliche Luft, in der bereits einmal Knall- gas verbrannt war .	225.8	0.5107	6.4	112.68
Nach Zulassung von Knall- gas	295.9	0.5806	6.4	167.87
Nach der Explosion . .	225.5	0.5110	6.2	112.67
Dasselbe 24 Stunden spä- ter gemessen	224.8	0.5112	5.7	112.61
Nach abermaliger Zulas- sung von Knallgas .	314.0	0.5977	5.7	183.84
Nach der Explosion . .	224.4	0.5125	5.7	112.65
Anfängliches Luftvolumen				112.68
Nach der ersten Verbrennung mit 55.19 Knallgas				112.68
Nach 24 Stunden von Neuem gemessen				112.57
Nach abermaliger Verbrennung mit 71.23 Knallgas				112.66

Als Beispiel einer solchen mit elektrolytischem Knallgas ausgeführten Stickstoffbestimmung mag die Analyse des keine Kohlensäure und nur eine Spur von Wasserstoff enthaltenden Quellengases einer kleinen Geisirgruppe im Norden von Island, welche nördlich von Maelifell vorkommt, hier eine Stelle finden.

*) In diesen Druckangaben ist hier, wie bei allen folgenden Analysen die Correction der Wasserdampftension und des Niveauunterschiedes im Quecksilberstande des Eudiometers und der Wanne bereits enthalten. Ebenso beziehen sich die Zahlen der ersten Columnne stets auf die nach dem Fehler des Meniscus und der Eudiometerkalibrirung corrigirten Volumina.

	Vol.	Druck.	Temp. C.	Vol. bei 0° und 1 ^m Druck.
Anfängliches Volumen	185.0	0.3948	16.0	69.00
+ Knallgas	229.8	0.4380	16.1	95.05
Nach der Explosion	186.4	0.3934	16.4	69.18
+ Wasserstoff	277.3	0.4838	16.3	126.61
+ Knallgas	360.3	0.5617	16.4	190.92
Nach der Explosion	277.2	0.4837	16.4	126.47
+ Luft	525.7	0.7301	15.8	362.84
Nach der Explosion	447.6	0.6529	16.2	275.88
Gas vor der Verbrennung				69.00
Gas nach der Verbrennung mit Knallgas				69.18
Gas und Wasserstoff vor der Verbrennung				126.61
Gas und Wasserstoff nach der Verbrennung mit Knallgas				126.50
Zugesetztes Wasserstoffgas				57.61
Durch Verbrennung mit Luft gefundenes Was- serstoffgas				57.97

Das untersuchte Gas besteht daher nur aus Stickstoff mit einer Spur von Wasserstoff, nämlich

Stickstoff	99.48
Wasserstoff	0.52
	100.00

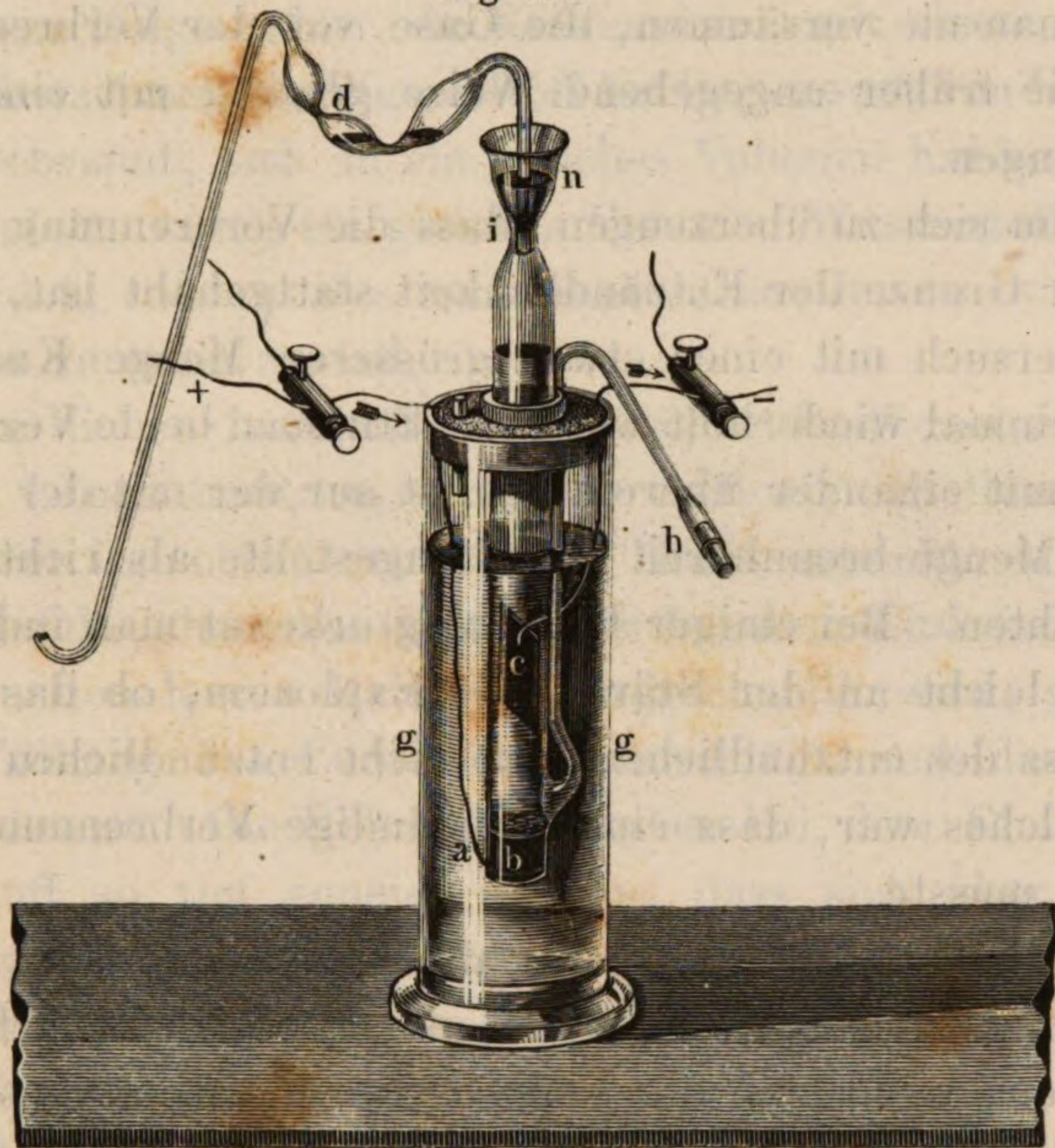
2. Sauerstoff.

Sauerstoff für sich, oder wenn er mit Stickstoff gemengt ist, wird am genauesten durch Verbrennung mit überschüssigem Wasserstoffgas bestimmt. Da $\frac{2}{3}$ des verbrannten Gasvolumens aus Wasserstoff und $\frac{1}{3}$ aus Sauerstoff besteht, so ergibt sich die gesuchte Sauerstoff-

menge, indem man die bei der Verbrennung eintretende Volumenverminderung durch 3 dividirt. Man entwickelt das zur Verbrennung erforderliche Wasserstoffgas in einer kleinen Digerirflasche aus reinem Zink mit verdünnter Schwefelsäure und lässt es durch ein möglichst kleines, mit Kalihydratsücken gefülltes Ableitungsrohr streichen, um es von jeder Spur Kohlensäure, Schwefelwasserstoff und der mechanisch mit übergerissenen Schwefelsäure zu befreien. Hat die Entwicklung 5 bis 10 Minuten gedauert, so darf man annehmen, dass alle Luft aus der Flüssigkeit und den möglichst kleinen schädlichen Räumen des Entwicklungsapparates verdrängt ist. Will man den höchsten Grad von Genauigkeit erreichen, so ist es vorzuziehen, das Wasserstoffgas auf elektrolytischem Wege zu bereiten. Man bedient sich dazu des Zersetzungsapparates Fig. 35, der chemisch reine, zehnfach mit Wasser verdünnte Schwefelsäure enthält und dessen bei *a* durch einen eingeschmolzenen Platindraht abgeleiteter positiver Pol *b* aus amalgamirtem, in Quecksilberschwimmenden Zinkdraht, dessen negativer Pol *c* aber aus Platinblech besteht. Leitet man den Strom von zwei bis drei Kohlen-Zinkelementen in der mit Pfeilen angedeuteten Richtung durch den Apparat, so erhält man eine gleichmässige Entwicklung von reinem, geruchlosen Wasserstoffgas, das bei *d* in dem kleinen Kugelapparat mit einigen Tropfen chemisch reiner Schwefelsäure gewaschen wird. Da sich das Zinkamalgam sehr bald mit einer concentrirten Lösung von schwefelsaurem Zinkoxyd bedeckt, so muss der Apparat nach jedesmaligem Gebrauch entleert und mit neuer Flüssigkeit gefüllt werden. Dies geschieht in der Weise, dass man den Stöpsel des Abflussrohres *h* und das in den Hals *i* eingeschliffene Ableitungsrohr entfernt und die neue Flüssigkeit in das kleine, während des Versuches als

Wasserverschluss dienende Reservoir *n* eingiesst, wobei die bei *h* ausfliessende aufgebrauchte Flüssigkeit durch

Fig. 35.



die bei *n* eingegossene verdrängt wird. Auch diese Vorrichtung steht in einem mit Alkohol gefüllten Cylinder *gg*, um eine Erhitzung der Poldröhte zu verhüten.

Weiss man schon oder hat man sich durch einen Präliminarversuch überzeugt, dass das zu bestimmende Sauerstoffgas fast rein ist, so darf man demselben ein drei- bis zehnfaches Volumen Wasserstoff bei der Verbrennung zusetzen. Bei Zusatz noch grösserer Mengen wird die Entzündlichkeit aufgehoben oder, was noch mehr zu befürchten ist, theilweise verhindert. Ist dagegen das Gas ein sauerstoffarmes, so mischt man es mit der doppelten Menge Wasserstoff und lässt, wenn das Gemenge

dadurch noch nicht entzündlich geworden sein sollte, so lange elektrolytisches Knallgas hinzutreten, bis die vollständige Verbrennlichkeit wieder hergestellt ist. Dabei darf man nie versäumen, die Gase vor der Verbrennung auf die früher angegebene Weise gehörig mit einander zu mengen.

Um sich zu überzeugen, dass die Verbrennung nicht an der Grenze der Entzündlichkeit stattgehabt hat, muss der Versuch mit einer etwas grösseren Menge Knallgas noch einmal wiederholt werden. Stimmen beide Versuche nicht mit einander überein, so ist nur der mit der grösseren Menge brennbaren Gases angestellte als richtig zu betrachten. Bei einiger Erfahrung erkennt man indessen schon leicht an der Stärke der Explosion, ob das Verhältniss des entzündlichen zum nicht entzündlichen Gase ein solches war, dass eine vollständige Verbrennung erfolgen musste.

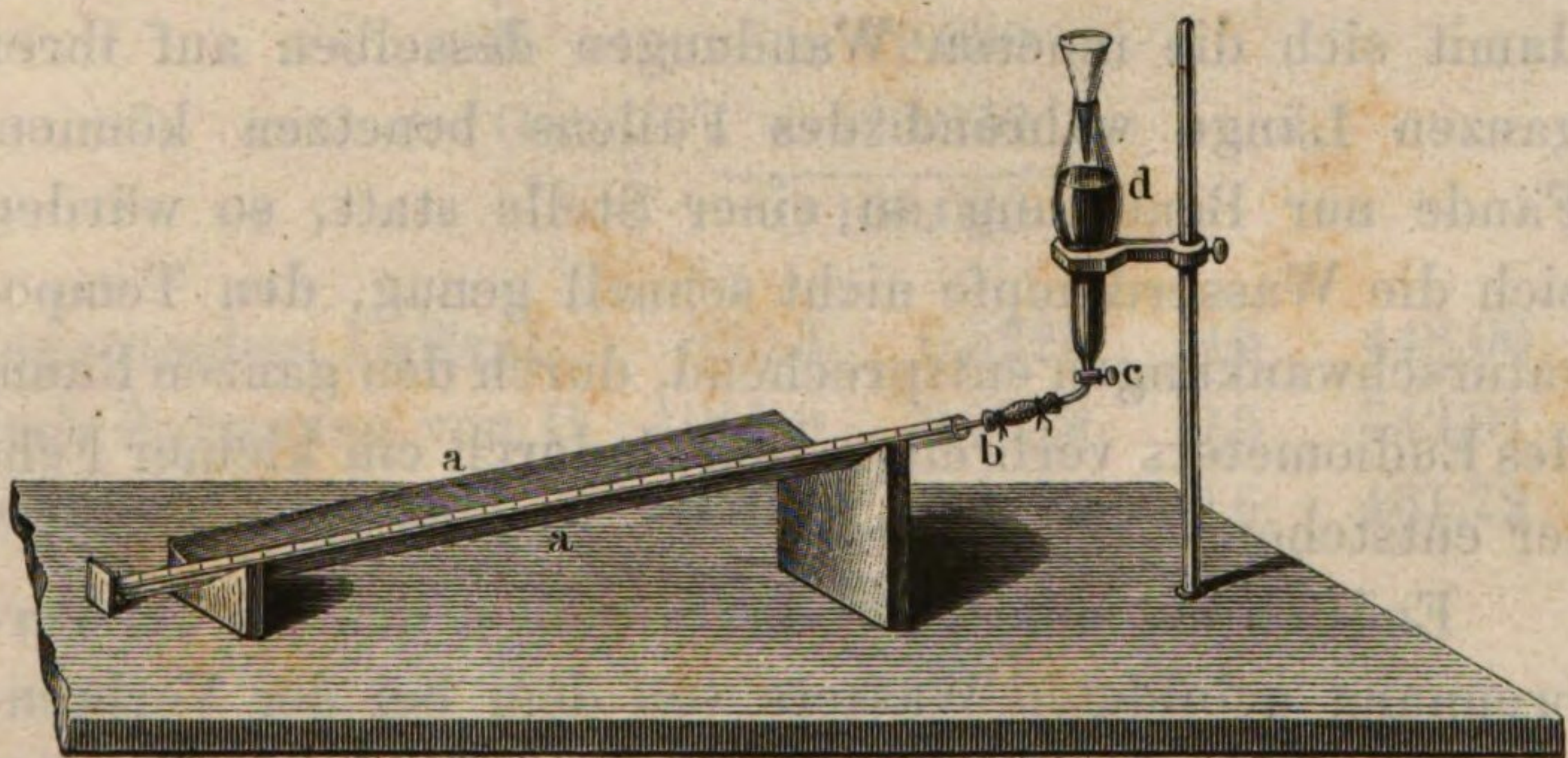
Der Sauerstoffgehalt der atmosphärischen Luft lässt sich nach dieser Methode mit der grössten Schärfe bestimmen, wenn man die Versuche in einem mit besonderer Sorgfalt kalibrierten 1^m langen und ungefähr 0^m025 weiten Eudiometer, und in einem Raume anstellt, dessen Temperaturänderungen nur gering und möglichst langsam sind.

Man fängt die Luft in ausgezogenen Arzneiflaschen von ungefähr 14 Unzen Inhalt auf, nachdem man zuvor ein kleines, in einer Höllensteinform gegossenes Stück Chlorcalcium zur Entfernung des Ammoniaks und ein ähnliches Stückchen Kalihydrat zur Beseitigung der Kohlensäure in das Gefäss gebracht und vermittelst eines Wassertropfens an die innere Glaswandung hat ankrystallisiren lassen. Es ist durchaus nothwendig, die Kohlensäure zuvor auf diese Weise aus der zu analysirenden

Luft zu entfernen; denn beträgt der Kohlensäuregehalt auch nur 0.05 Volumprocent, so würde diese Menge doch schon einen messbaren Fehler in der Sauerstoffbestimmung zur Folge haben, da Kohlensäure, mit einem grossen Ueberschuss von Wasserstoff bei Gegenwart von Knallgas verbrannt, sich in ein gleiches Volumen Kohlenoxyd verwandelt, wobei ein gleiches Volumen Wasserstoff verschwindet, so dass das verbrannte Gasvolumen um 0.05 Procent zu gross ausfallen würde.

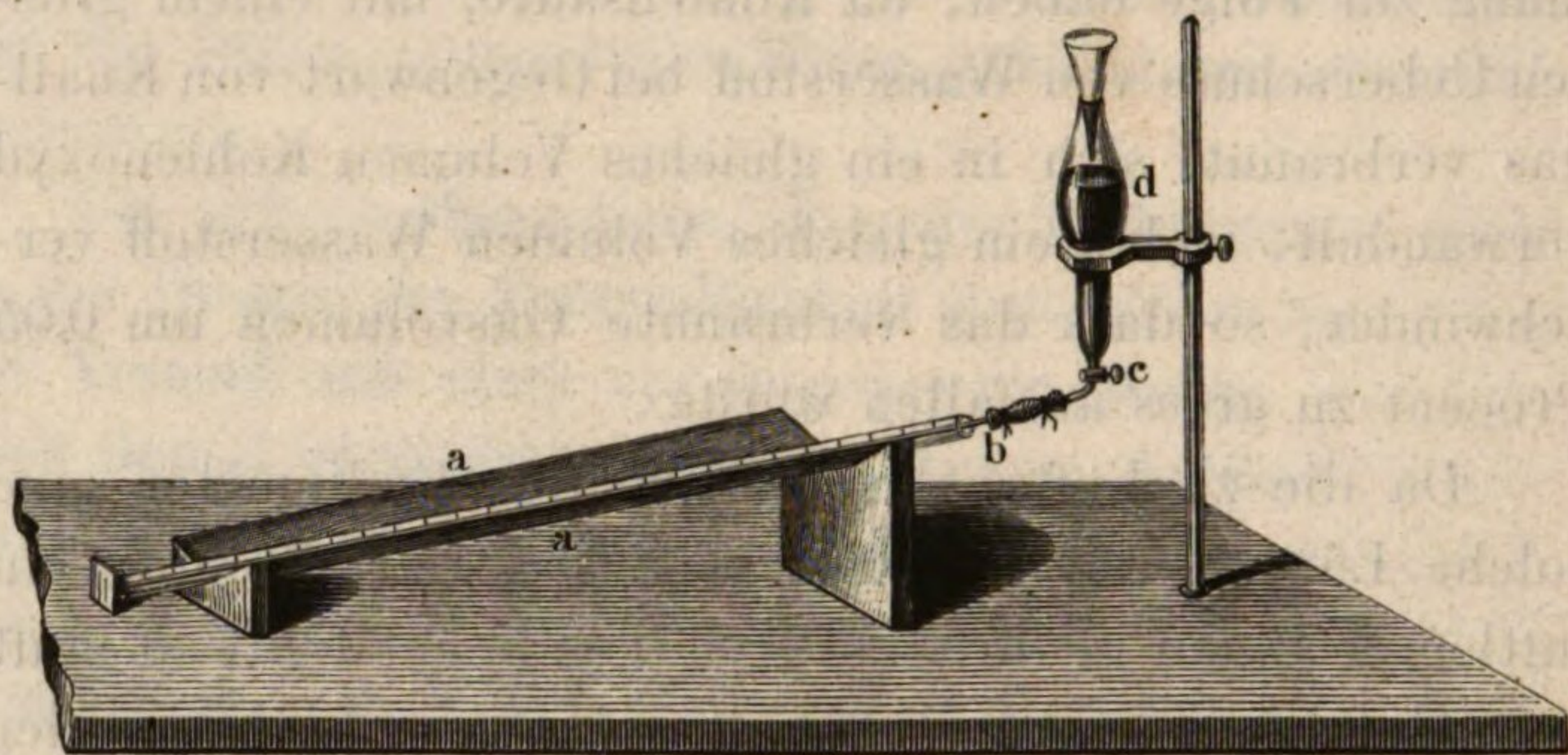
Da die zu Luftanalysen dienenden Eudiometer eine solche Länge besitzen, dass bei verticaler Stellung ein luftleerer Raum in ihrem oberen Theile entsteht, so läuft man Gefahr, dass das Quecksilber bei dem Einlassen der Luft in den leeren Raum emporgeschnellert wird, gegen die Wölbung des Eudiometers anschlägt und dasselbe zertrümmert. Die Röhre muss daher bei dem Einlassen der Luft so tief geneigt werden, dass sich über dem Quecksilber kein leerer Raum mehr befindet. Zum bequemen Einfüllen der ziemlich bedeutenden Quecksilbermasse legt man das Instrument am besten in eine mit Filz gefütterte, gegen 30° geneigte Rinne *aa*, Fig. 36, und

Fig. 36.



lässt in dessen tiefsten Theil ein langes, enges Glasrohr *b* münden, das sich an einem mit Glashahn *c* versehenen

Fig. 37.



und mit Quecksilber gefüllten Trichter *d* befindet. Dabei muss eine durch Anfassen der Röhre bewirkte Erwärmung des Quecksilbers so viel als möglich vermieden werden. Die Luft wird stets im Maximum der Feuchtigkeit gemessen. Man bringt zu diesem Zwecke vor dem Einfüllen des Quecksilbers einen kleinen Wassertropfen von einer gegen den Rauminhalt des Eudiometers verschwindenden Kleinheit in die Wölbung des Instrumentes, damit sich die inneren Wandungen desselben auf ihrer ganzen Länge während des Füllens benetzen können. Fände nur Benetzung an einer Stelle statt, so würden sich die Wasserdämpfe nicht schnell genug, den Temperaturschwankungen entsprechend, durch den ganzen Raum des Eudiometers verbreiten, und dadurch ein kleiner Fehler entstehen.

Endlich hat man noch das Volumen des bei der Verbrennung gebildeten Wassers von dem bei der Verbrennung verschwundenen Gasvolumen abzuziehen. Zu dieser Correction genügt es, das verschwundene, auf 1^m

Druck und 0° C. reducirte Gasvolumen mit 0.0007 zu multipliciren und das so erhaltene Product von der beobachteten Volumenverminderung abzuziehen.

Um einen Maassstab für die Genauigkeit dieser Methode zu geben, lasse ich eine Reihe von Analysen folgen, die ich im Januar und Februar 1846 mit Luft aus dem Hofe des Marburger Laboratoriums mehr zur Prüfung der Methode als zur Feststellung der Luftzusammensetzung angestellt habe.

Luftanalysen vom Januar und Anfang Februar 1846.

Erste Reihe.

9. Januar. Lufttemp. Max. 1°4 C., Min. 0°25 C. Baromet. 0.7648.

	Vol.	Druck. bei 0°.	Temp. C.	Vol. bei 0° und 1 ^m Druck.
Angewandtes Luftvol. .	841.8	0.5101	0.3	428.93
Nach Zulassung von H	1051.7	0.7137	0.3	749.77
Nach der Explosion .	878.8	0.5469	0.3	480.09

Luft: in 100 Theilen

N	. . .	79.030
O	. . .	20.970
		100.000

Angewandtes Luftvol. .	859.3	0.5225	0.6	448.00
Nach Zulassung von H	1051.9	0.7079	0.6	743.01
Nach der Explosion .	870.3	0.5317	0.6	461.72

Luft: in 100 Theilen

N	. . .	79.037
O	. . .	20.963
		100.000

11. Januar. Lufttemp. Max. — 0°88 C., Min. — 2°6 C., Bar. 0.7562.

	Vol.	Druck.	Temp. C.	Vol. bei 0° u. 1 ^m Dr.
Angewandtes Luftvol. .	885.4	0.5388	0.5	476.20
Nach Zulassung von H	1052.7	0.7031	0.5	738.82
Nach der Explosion .	858.3	0.5136	0.5	440.03

Luft: in 100 Theilen

N . . .	79.073
O . . .	20.927
	100.000

13. Januar. Lufttemp. Max. — 1°5 C., Min. — 2°5 C., Bar. 0.7423.

Angewandtes Luftvol. .	882.2	0.5276	0.9	464.94
Nach Zulassung von H	1053.8	0.6929	0.8	729.38
Nach der Explosion .	861.8	0.5084	0.7	437.83

Luft: in 100 Theilen

N . . .	79.086
O . . .	20.914
	100.000

14. Januar. Lufttemp. Max. — 2°4 C., Min. — 4°9 C., Bar. 0.7477.

Angewandtes Luftvol. .	870.3	0.5213	0.3	453.20
Nach Zulassung von H	1045.0	0.6914	0.3	721.71
Nach der Explosion .	858.0	0.5099	0.2	437.01

Luft: in 100 Theilen

N . . .	79.050
O . . .	20.950
	100.000

Zweite Reihe,
mit einem anderen Eudiometer bestimmt.

18. Januar. Lufttemp. Max. 1°4 C., Min. 0° C., Baromet. 0.7397.

	Vol.	Druck.	Temp. C.	Vol. bei 0° u. 1 ^m Dr.
Angewandtes Luftvol. .	831.6	0.5272	0.9	436.97
Nach Zulassung von H	994.7	0.6836	0.9	677.74
Nach der Explosion .	808.0	0.5015	0.9	403.88

Luft: in 100 Theilen

N . . . 79.094

O . . . 20.906

100.000

Angewandtes Luftvol. .	845.3	0.5380	1.2	452.78
Nach Zulassung von H	1004.6	0.6917	1.4	691.36
Nach der Explosion .	809.4	0.5057	1.4	407.24

Luft: in 100 Theilen

N . . . 79.072

O . . . 20.928

100.000

20. Januar. Lufttemp. Max. 6° C., Min. 2°5 C., Baromet. 0.7402.

Angewandtes Luftvol. .	809.6	0.5001	1.7	402.39
Nach Zulassung von H	991.0	0.6751	1.8	664.64
Nach der Explosion .	823.9	0.5041	2.1	412.16

Luft: in 100 Theilen

N . . . 79.073

O . . . 20.927

100.000

Angewandtes Luftvol. .	833.5	0.5170	2.7	426.74
Nach Zulassung von H	997.1	0.6744	3.0	665.19
Nach der Explosion .	811.8	0.4949	3.0	397.42

Luft: in 100 Theilen

N . . . 79.073

O . . . 20.927

100.000

22. Jan. Lufttemp. Max. 10°9 C., Min. 5°6 C., Bar. 0.7339. Süd Sturm.

	Vol.	Druck.	Temp. C.	Vol. bei 0° u. 1 ^m Dr.
Angewandtes Luftvol. .	839.0	0.5236	3.4	433.92
Nach Zulassung von H	991.3	0.6707	3.6	656.20
Nach der Explosion .	801.6	0.4854	3.6	384.03

Luft: in 100 Theilen

N . . . 79.081

O . . . 20.919

100.000

Angewandtes Luftvol. .	851.4	0.5374	4.0	450.96
Nach Zulassung von H	992.1	0.6725	4.2	657.06
Nach der Explosion .	793.2	0.4797	4.2	374.73

Luft: in 100 Theilen

N . . . 79.120

O . . . 20.880

100.000

24. Januar. Lufttemp. Max. 10° C., Min. 5° C., Baromet. 0.7384.

Angewandtes Luftvol. .	855.2	0.5448	3.4	460.21
Nach Zulassung von H	1004.7	0.6850	3.4	679.52
Nach der Explosion .	806.0	0.4913	3.6	390.83

Luft: in 100 Theilen

N . . . 79.079

O . . . 20.921

100.000

Angewandtes Luftvol. .	860.0	0.5382	5.2	454.22
Nach Zulassung von H	1004.6	0.6769	5.4	665.34
Nach der Explosion .	805.0	0.4833	5.3	381.65

Luft: in 100 Theilen

N . . . 79.057

O . . . 20.943

100.000

26. Januar. Lufttemp. Max. 9°0 C., Min. 8°5 C., Baromet. 0.7334.

	Vol.	Druck.	Temp. C.	Vol. bei 0° u. 1 ^m Dr.
Angewandtes Luftvol. .	842.2	0.5274	5.6	435.35
Nach Zulassung von H	1002.5	0.6825	5.7	670.26
Nach der Explosion .	811.2	0.4994	5.5	397.13

Luft: in 100 Theilen

N 79.073

O 20.927

100.000

Angewandtes Luftvol. .	868.5	0.5613	5.1	478.59
Nach Zulassung von H	1007.8	0.6930	5.1	685.65
Nach der Explosion .	799.7	0.4909	5.2	385.25

Luft: in 100 Theilen

N 79.066

O 20.934

100.000

28. Januar. Lufttemp. Max. 5°0 C., Min. 1°8 C., Baromet. 0.7402.

Angewandtes Luftvol. .	841.1	0.5317	5.4	438.58
Nach Zulassung von H	992.7	0.6771	5.4	659.17
Nach der Explosion .	800.6	0.4889	5.3	383.97

Luft: in 100 Theilen

N 79.072

O 20.928

100.000

Angewandtes Luftvol. .	854.3	0.5474	5.4	458.61
Nach Zulassung von H	1003.2	0.6911	5.5	679.55
Nach der Explosion .	802.8	0.4981	5.5	392.00

Luft: in 100 Theilen

N 79.089

O 20.911

100.000

30. Januar. Lufttemp. Max. 7°8 C, Min. 3°8 C., Baromet. 0.7457.

	Vol.	Druck.	Temp. C.	Vol. bei 0° u. 1 ^m Dr.
Angewandtes Luftvol. .	851.2	0.5468	6	455.41
Nach Zulassung von H	1010.1	0.6979	6	689.77
Nach der Explosion .	816.9	0.5051	6	403.73

Luft: in 100 Theilen

N . . . 79.111

O . . . 20.889

100.000

Angewandtes Luftvol. .	856.2	0.5475	6.4	458.05
Nach Zulassung von H	1010.5	0.6945	6.4	685.75
Nach der Explosion .	811.2	0.5028	6.2	398.82

Luft: in 100 Theilen

N . . . 79.108

O . . . 20.892

100.000

1. Februar. Lufttemp. Max. 9°8 C., Min. 5°1 C., Baromet. 0.7382.

Angewandtes Luftvol. .	862.1	0.5512	6.3	464.51
Nach Zulassung von H	1005.1	0.6866	6.3	674.59
Nach der Explosion .	801.2	0.4906	6.2	384.34

Luft: in 100 Theilen

N . . . 79.160

O . . . 20.840

100.000

Angewandtes Luftvol. .	854.9	0.5520	5.9	461.97
Nach Zulassung von H	1003.9	0.6940	6.0	681.78
Nach der Explosion .	805.5	0.4980	5.9	392.69

Luft: in 100 Theilen

N . . . 79.141

O . . . 20.859

100.000

3. Februar. Lufttemp. Max. 6°5 C., Min. 1°2 C., Baromet. 0.7458.

	Vol.	Druck.	Temp. C.	Vol. bei 0° u. 1 ^m Dr.
Angewandtes Luftvol. .	850.7	0.5467	6.2	454.75
Nach Zulassung von H	1010.8	0.7001	6.2	691.95
Nach der Explosion .	812.7	0.5115	6.1	406.63

Luft: in 100 Theilen

N . . .	79.075
O . . .	20.925
	100.000

Angewandtes Luftvol. .	863.7	0.5576	5.5	472.11
Nach Zulassung von H	1006.7	0.6911	5.5	682.02
Nach der Explosion .	800.7	0.4914	5.6	385.60

Luft: in 100 Theilen

N . . .	79.060
O . . .	20.940
	100.000

5. Februar. Lufttemp. Max. 3°8 C., Min. 0°12 C., Baromet. 0.7428.

Angewandtes Luftvol. .	848.5	0.5425	5.5	451.24
Nach Zulassung von H	1003.4	0.6919	5.5	680.57
Nach der Explosion .	806.2	0.5025	5.4	397.29

Luft: in 100 Theilen

N . . .	79.063
O . . .	20.937
	100.000

Angewandtes Luftvol. .	858.0	0.5500	5.4	462.78
Nach Zulassung von H	1002.7	0.6867	5.6	674.72
Nach der Explosion .	798.6	0.4893	5.6	383.99

Luft: in 100 Theilen

N . . .	79.048
O . . .	20.952
	100.000

8. Februar. Lufttemp. Max. 6°1 C., Min. 1°5 C., Baromet. 0.7441.

	Vol.	Druck.	Temp. C.	Vol. bei 0° u. 1 ^m Dr.
Angewandtes Luftvol. .	849.8	0.5460	5.1	455.52
Nach Zulassung von H .	1006.0	0.6958	5.0	687.33
Nach der Explosion .	807.5	0.5053	4.7	401.13

Luft: in 100 Theilen

N . . . 79.047

O . . . 20.953

100.000

Bei Normalbestimmungen über die Zusammensetzung der atmosphärischen Luft lässt sich leicht ein noch höherer Grad von Schärfe erreichen, wenn man die einzelnen Ablesungen von Stunde zu Stunde wiederholt. Aus der Uebereinstimmung der abgelesenen reducirten Volumina ist es dann leicht ersichtlich, an welcher Stelle der Beobachtungsreihe das grösste Gleichgewicht in den Temperaturen eingetreten ist. Ich gebe als Beispiel einer solchen Bestimmung die Analyse einer Luft, die am 31. Mai 1847 ebenfalls im Hofe des chemischen Laboratoriums zu Marburg aufgefangen war und welche mit einem anderen, etwas kleineren Eudiometer ausgeführt wurde.

Angew. Luftvol.	{	6 ^h 0'	754.9	0.5045	15.4	360.52	} 360.62
		7 ^h 0'	755.0	0.5046	15.4	360.63	
		8 ^h 0'	755.2	0.5047	15.5	360.70	
Nach Zu- lass. v. H	{	11 ^h 0'	904.0	0.6520	15.8	557.20	} 557.20
		12 ^h 0'	904.6	0.6521	16.0	557.24	
		1 ^h 0'	904.9	0.6518	16.0	557.17	
Nach der Explosion	{	3 ^h 0'	732.3	0.4781	16.1	330.64	} 330.54
		4 ^h 0'	732.5	0.4777	16.1	330.45	
		5 ^h 0'	732.7	0.4777	16.1	330.54	

N . . . 79.036

O . . . 20.964

100.000

Tritt eine Temperaturänderung während der Beobachtungen ein, so darf man nie unterlassen, die Quecksilbersäulen im Barometer und Eudiometer auf gleiche Dichtigkeit mit Hülfe der Tabelle IV. zu reduciren.

In dem Falle, wo Sauerstoff mit brennbaren Gasen gemengt vorkommt, ist es am zweckmässigsten, denselben durch Absorptionsmittel zu bestimmen. Man kann sich dazu einer unter warmem Wasser gegossenen Phosphorkugel bedienen. Die Absorption erfolgt erst bei Temperaturen über 10 bis 12°, ja sogar unter Umständen erst über 15 bis 25°. Ist namentlich Sauerstoff in grosser Menge vorhanden, oder finden sich Aethyl, Methyl, Elayl und ähnliche Kohlenwasserstoffe unter den Gasen, so kann man oft bis nahe an den Schmelzpunkt des Phosphors erhitzen, ohne dass eine langsame Verbrennung eintritt. Man muss sich daher stets bei dem Beginne des Versuches überzeugen, ob sich die Kugel mit einem weissen Nebel von phosphoriger Säure umgiebt. Ist dies der Fall, so erfolgt die Sauerstoffabsorption vollständig. Niemals darf man aber von der Abwesenheit solcher Nebel auf die Abwesenheit von Sauerstoff schliessen.

Da sich die Wände der Messröhre mit phosphoriger Säure beschlagen, deren Dampftension einen bedeutenden Fehler zur Folge hat, so muss das Gas vor der Ablesung noch auf das Sorgfältigste mit einer Kalihydratkugel getrocknet werden. Dies gelingt aber nur schwierig, da die an den Glaswänden haftende phosphorige Säure zerfliesslich ist. Man wendet daher, nach Liebig's Vorschlage, statt des Phosphors weit besser eine alkalische concentrirte Lösung von pyrogallussaurem Kali an, welche am besten vermittelt einer mit diesem Salze getränkten festen Papiermachékugel mit dem Gase in Berührung gebracht wird. Die Absorption geht zwar etwas

schwierig, aber doch vollständig von Statten, besonders wenn man die Kugel einmal erneuert. Auch nach diesem Versuche muss das Gas mit einer möglichst wenig wasserhaltigen Aetzkalikugel getrocknet werden. Sind noch andere, durch Kalihydrat absorbirbare Gase vorhanden, so muss man dieselben vor der Anwendung des pyrogallussauren Kalis bestimmen. Das als syropsdicke Lösung angewandte Kalisalz braucht nicht chemisch rein zu sein. Man reicht vollkommen mit dem unreinen Producte aus, welches durch trockene Destillation von Chinesischen Galläpfeln erhalten wird, wenn man dasselbe im Wasserbade concentrirt und mit Aetzkali übersättigt.

Ein Versuch mit pyrogallussaurem Kali gab für atmosphärische Luft:

	Vol.	Druck.	Temp. C.	Vol. bei 0° u. 1 ^m Dr.
Angewandte Luft . . .	368.9	0.5759	3.1	210.08
Nach Absorption des O	313.8	0.5358	3.1	166.25
	Gefunden.		Wirkliche Zusammensetzung.	
Stickstoff . . .	79.14		79.04	
Sauerstoff . . .	20.86		20.96	
	100.00		100.00.	

3. K o h l e n s ä u r e.

Wenn man bei gasometrischen Untersuchungen vollkommen reine Kohlensäure anzuwenden hat, darf man dieselbe niemals durch Zersetzung eines kohlensauren Salzes mit Salzsäure oder Salpetersäure bereiten, weil sonst leicht Spuren dieser flüchtigen Säuren das Gas verunreinigen können. Man erhält ein vollkommen chemisch reines Product, und zwar in einem lange anhaltenden, ruhig und vollkommen gleichmässig entwickelten Strome, wenn man Kreide mit concentrirter Schwefelsäure

übergiesst und dann nur wenige Tropfen Wasser hinzufügt. Der kohlensaure Kalk decrepitirt unter der Flüssigkeit, ohne dass der abgeschiedene Gyps nachtheilig auf die gleichförmige Entwicklung des Gases einwirkte, was bei verdünnter Schwefelsäure nach wenigen Augenblicken der Fall ist.

Die Bestimmung der Kohlensäure geschieht durch eine an einen Platindraht gegossene Aetzkalikugel, die so wasserhaltig ist, dass sie noch Eindrücke vom Nagel annimmt, und die man zuvor an der Oberfläche mit etwas Wasser befeuchtet.

Hat man unverhältnissmässig grosse Volumina Kohlensäure zu absorbiren, so bringt man die Kugel zweimal in das Gas, indem man sie vor dem zweiten Einbringen durch Abspülen mit Wasser von der darauf befindlichen Kruste des gebildeten kohlensauren Salzes befreit. Will man besonders genaue Resultate erhalten, so ist es immer besser, nach der Absorption noch eine möglichst wasserfreie Kalikugel anzuwenden, um sicher zu sein, dass sich das Gas nach Entfernung der Kohlensäure im Zustande absoluter Trockenheit befindet, was bei sehr wasserreichem Kali besonders dann nicht vollständig der Fall ist, wenn die Eudiometerwände ursprünglich etwas mehr als nöthig befeuchtet waren. Doch ist selbst unter diesen Umständen der zu befürchtende Fehler nicht sehr erheblich.

Die nachstehende Analyse ist mit der Kohlensäure angestellt, welche aus dem grossen älteren Soolsprudel der Nauheimer Thermalquellen entweicht.

	Vol.	Temp. C.	Druck.	Vol. bei 0° u. 1 ^m Dr.
Luft im Absorptionsrohr .	20.1	10.1	0.524	10.16
Nach Zulassung der Koh- lensäure	530.0	10.2	0.745	165.19
Nach der Absorption durch Kali	20.4	10.2	0.5164	10.16

Man sieht, dass die Kohlensäure der Nauheimer Quelle chemisch rein ist.

Hat man in Gasgemengen neben Kohlensäure noch Sauerstoff und Stickstoff zu ermitteln, so wird die erstere im Absorptionsrohre bestimmt und das rückständige Gasgemenge in ein Verbrennungseudiometer übergefüllt, um die Verpuffung mit Wasserstoff in einem Raume vornehmen zu können, dessen Wände nicht mit Aetzkali beschmutzt sind, da durch dessen Gegenwart die Spannkraft des Wasserdampfes im feucht gemessenen Gase verändert werden würde.

Gebieten es die Umstände, die Versuche in einem und demselben Eudiometer auszuführen, so kann man den Sauerstoff durch pyrogallussaures Kali nach Absorption der Kohlensäure bestimmen. Dann aber ist es unumgänglich nothwendig, das rückständige Stickstoffvolumen durch eine Kalikugel noch vor der Ablesung zu trocknen.

Ich wähle als Beispiel die Analyse eines schweren oder drückenden Wetters aus den Habichtswalder Braunkohlenwerken bei Cassel. Man bezeichnet bekanntlich mit diesem Namen die sauerstoffarmen, kohlendurehaltigen, nicht explosiven Gasgemenge, welche sich besonders häufig in den durch Braunkohlenflötze getriebenen Stollen und Strecken ansammeln und, wo man sie nicht durch Wetterschächte oder andere Ventilationsvorrichtungen entfernt, den Grubenarbeitern höchst verderblich werden.

Das Gas zu der Analyse ist vom Herrn Bergverwalter Ulrich im sogenannten Hilfsstollen an einer Stelle gesammelt, in der man sich nicht ohne Gefahr längere Zeit aufhalten konnte:

	Vol.	Druck.	Temp. C.	Vol. bei 0° u. 1 ^m Dr.
Anfängliches Volumen .	171.2	0.6240	13.5	101.66
Nach Absorption der C	167.3	0.6196	13.5	98.78
Nach Absorption des O	147.0	0.6058	13.9	84.75
Stickstoff . . .		83.37		
Sauerstoff . . .		13.80		
Kohlensäure . .		2.83		
		100.00		

Da der freie Sauerstoff sammt dem in der Kohlensäure enthaltenen Sauerstoff zu dem gefundenen Stickstoffgehalt nicht in demselben Verhältniss steht, wie in der atmosphärischen Luft, so lässt sich daraus abnehmen, dass bei der Bildung solcher Gasgemenge nur ein Theil des atmosphärischen Sauerstoffs in Kohlensäure übergeht, während ein anderer in den Zersetzungsproducten der Braunkohle zurückbleibt. Feuchte Braunkohlen einige Wochen in einem sehr grossen Volumen atmosphärischer Luft bei mittlerer Temperatur sich selbst überlassen, gaben das nachstehende, dem untersuchten ganz analoge Gasgemenge:

	Vol.	Druck.	Temp. C.	Vol. bei 0° u. 1 ^m Dr.
Anfängliches Volumen .	124.0	0.5043	16.5	58.97
Nach Absorption der C	114.3	0.5052	16.5	54.58
Nach Absorption des O	106.5	0.4838	17.5	48.56
Stickstoff . . .		82.35		
Sauerstoff . . .		10.21		
Kohlensäure . .		7.44		
		100.00		

4. Schwefelwasserstoff.

Die bisher zur Trennung des Schwefelwasserstoffs benutzten Mittel sind bei genauen gasometrischen Untersuchungen unanwendbar. Eine Coakskugel, die mit Kupfervitriol, milchsaurem Silberoxyd, Brechweinstein oder einer anderen durch Schwefelwasserstoff zersetzbaren Metallsolution getränkt ist, überzieht sich schnell mit einer Schicht Schwefelmetall, welche die weitere Einwirkung des Gases fast ganz verhindert. Die Resultate sind nicht günstiger, wenn man statt der erwähnten Lösungen die festen befeuchteten Salze anwendet. Chromsaures Quecksilberoxyd, Kupfervitriol in der Form mässig grosser Kugeln angewandt, absorbiren nur etwa 9 Theilstriche in 12 Stunden. Trocken es Mangansuperoxyd oder braunes Bleisuperoxyd zersetzen zwar den Schwefelwasserstoff schnell und vollständig, allein diese Stoffe zeigen, ihrer Porosität wegen, eine solche Absorptionsfähigkeit für Gase, dass stets eine viel bedeutendere Volumenverminderung eintritt, als dem Schwefelwasserstoff entspricht. Dieser Fehler lässt sich indessen auf folgende Art vermeiden. Man schlämmt den reinsten Braunstein zu einem möglichst feinen und gleichförmigen Pulver, das man mit destillirtem Wasser zu einem dünnen Brei befeuchtet und in eine mit Oel abgeriebene Kugelform bringt, in der sich ein am Ende mehrfach umgebogener Platindraht befindet. Durch Trocknen auf einer nicht zu heissen Stelle der Sandcapelle erhält man auf diese Art ohne alles weitere Bindemittel eine feste Braunsteinkugel, welche sich leicht aus der Form herausnehmen lässt. Die Kugel wird wiederholt mit einer concentrirten Phosphorsäurelösung von syrupsdicker Consistenz befeuchtet, jedoch nur bis

zu dem Grade, dass sie noch hinlänglich Festigkeit behält, um durch das Quecksilber in das Eudiometer eingeführt werden zu können. Bemerkt man, dass die Feuchtigkeit an den Eudiometerwänden bei der Absorption des Schwefelwasserstoffs verschwunden ist, so muss das Gas noch nachträglich durch eine Phosphorsäurekugel vollkommen ausgetrocknet werden. Solche Phosphorsäurekugeln lassen sich sehr leicht herstellen, wenn man einen oben mehrfach umgebogenen Platindraht in erkaltende, glühend flüssige Phosphorsäure taucht und den erkalteten, daran hängenden Phosphorsäuretropfen so lange mit der zähen, geschmolzenen Masse überfängt, bis er eine vollkommene Kugelgestalt und die Grösse einer starken Erbse angenommen hat. Unter Beobachtung aller dieser Vorsichtsmaassregeln lässt sich Schwefelwasserstoff mit grosser Genauigkeit von Wasserstoff, Stickstoff, Kohlensäure, Kohlenwasserstoffgasen u. s. w. trennen, wie die nachstehenden Analysen eines Gemenges von Wasserstoff, Kohlensäure und Schwefelwasserstoff zeigen:

	Vol.	Druck.	Temp. C.	Vol. bei 0° u. 1 ^m Dr.
Angewandte $\ddot{C}$	71.2	0.6551	8.6	45.22
Nach Zusatz von H . . .	98.6	0.6817	8.8	65.12
Nach Zusatz von HS . .	139.0	0.7206	8.8	97.04
Nach Absorption des HS	98.8	0.6813	9.3	65.10

Dies giebt

	Angewandt.	Gefunden.
Kohlensäure	46.60	46.59
Wasserstoff	20.51	20.50
Schwefelwasserstoff .	32.89	32.91
	100.00	100.00

	Vol.	Druck.	Temp. C.	Vol. bei 0° u. 1 ^m Dr.
Angewandte C	102.5	0.6990	10.3	69.04
Nach Zusatz von HS .	121.8	0.7176	10.3	84.03
Mit Mn und Ph behandelt	103.2	0.7005	10.3	69.66
Dieselbe Behandlung wiederholt	103.3	0.6974	10.7	69.32
	Angewandt.	Gefunden.		
Kohlensäure	82.16	82.49		
Schwefelwasserstoff .	17.84	17.51		
	100.00	100.00		

Der zu den Versuchen benutzte Schwefelwasserstoff war aus Schwefeleisen bereitet. Derselbe kann daher, wie man sieht, auf diese Weise chemisch rein erhalten werden, und erleidet, mit Quecksilber in Berührung, selbst im feuchten Zustande keine so rasche Zersetzung, dass das Resultat der Analyse dadurch merklich getrübt würde.

Man kann sich noch einer anderen Methode bedienen, welche zwar nicht so scharfe Resultate giebt, aber für den Fall besonders anwendbar ist, wo nur unbedeutende Spuren von Schwefelwasserstoff bestimmt werden sollen. Man absorbirt in diesem Falle Kohlensäure und Schwefelwasserstoff gemeinschaftlich durch eine Kugel von reinem Aetzkali. Dieselbe muss sehr viel Wasser enthalten und trocken, wie sie aus der Kugelform kommt, in das Gas gebracht werden, damit von der Kalimasse durch Befeuchten des Quecksilbers nichts verloren geht. Man befreit darauf mit Essigsäure angesäuertes destillirtes Wasser durch Kochen in zwei Digerirflaschen von aller Luft, füllt die eine Flasche mit der noch kochenden Flüssigkeit der anderen bis an den Rand voll und verschliesst sie durch einen mit Kautschuk überzogenen

Kork luftdicht, so dass sich zwischen der Flüssigkeit und dem Verschluss keine Luftblase zeigt. Der Kork wird in dem Maasse, als die Flüssigkeit sich durch Abkühlung zusammenzieht, tiefer eingedrückt, um einen luftleeren Raum und jedes Eindringen von atmosphärischer Luft zu vermeiden. In dieser Flüssigkeit, der man nach dem Erkalten einige Tropfen völlig klare Stärkelösung hinzufügt, lässt man die vom Platindraht abgeschnittene Kalikugel sich auflösen, indem man sie unmittelbar aus dem Eudiometer in die Digerirflasche bringt. Man erhält dadurch den ganzen Schwefelwasserstoffgehalt des Gases in dem mit Essigsäure angesäuerten luftfreien stärkehaltigen Wasser gelöst. Fügt man dieser Flüssigkeit mittelst einer genau kalibrierten Pipette eine Jodlösung von bekanntem Jodgehalt und solcher Verdünnung, dass in einem Theilstrich der Pipette 0.01 Milligramm Jod enthalten ist, unter stetem Umrühren tropfenweise hinzu, so lässt sich an der plötzlich eintretenden blauen Färbung der Stärke die Grenze, wo der Schwefelwasserstoff gerade zersetzt ist, sehr scharf bestimmen. Das Volumen des Schwefelwasserstoffs ergibt sich aus der Menge des verbrauchten Jods, indem jedes Milligramm dieser Substanz 0.087771 CC. Schwefelwasserstoff von 0° und 0^m76 entspricht.

Um alle Fehler, welche in der Unreinheit des Kalis ihren Grund haben können, zu vermeiden, wiederholt man den Versuch ganz in derselben Weise mit einer nicht mit Schwefelwasserstoff behandelten Kalikugel und zieht die bis zur Bläuung zugesetzte Jodmenge von der bei dem ersten Versuche gefundenen Jodmenge ab. Um bei dieser Bestimmung einigermaassen genaue Resultate zu erhalten, ist es erforderlich, stets gleiche und nicht zu grosse Mengen Essigsäure und Stärkelösung anzuwenden

und die Schwefelwasserstoff enthaltende Flüssigkeit so verdünnt anzuwenden, dass in 10000 Theilen derselben weniger als 5 Theile Schwefelwasserstoff vorhanden sind. Diese Vorsichtsmaassregeln wurden bei dem folgenden Versuche beobachtet:

	Vol.	Temp. C.	Druck.	CC. bei 0° u. 0 ^m 76 Dr.
Wasserstoff	40.2	— 5.8	0.6497	9.409
Nach Zusatz von HS . . .	64.3	— 5.6	0.6730	15.573
Nach Absorption des HS				
durch HK	40.4	— 5.4	0.6516	9.468
Jodverbrauch zur Zersetzung des HS			0 ^g 0688	
— Jodverbrauch bei dem Scheinversuch			0 ^g 0009	
Schwefelwasserstoff durch Jod bestimmt			0 ^g 0679	= 5.96 CC.
Durch Absorption gefunden				6.10 „

Ist der Schwefelwasserstoff nur mit Stickstoff, Wasserstoff oder einem anderen durch Kali nicht absorbirbaren Gase gemischt, so kann derselbe einfach wie Kohlensäure durch eine Kalikugel bestimmt werden.

5. Schwefelige Säure.

Schwefelige Säure, welche neben Kohlensäure als ein sehr verbreiteter Gemengtheil der vulcanischen Gase auftritt, lässt sich genau auf dieselbe Art wie Schwefelwasserstoff bestimmen. Die nachstehende Analyse eines Gemisches von Kohlensäure und schwefeliger Säure zeigt den Grad der Genauigkeit, welche sich auf diesem Wege erreichen lässt.

	Vol.	Druck.	Temp. C.	Vol. bei 0° u. 1 ^m Dr.
Angewandte Kohlensäure .	116.5	0.6720	19.8	73.00
Nach Zulassung von schwefeliger Säure . . .	152.2	0.7071	19.8	100.35
Nach der Absorption durch Mn und Ph	115.6	0.6901	19.6	72.94

	Angewandt.	Gefunden.
Kohlensäure	72.75	72.69
Schwefelige Säure . .	27.25	27.31
	100.00	100.00

Als zweites Beispiel mag hier noch die Analyse eines dem Luftzutritte zugänglichen Gasgemenges Platz finden, welches ich im Jahre 1846 in einer der Spalten des grössten Heklakraters einige Monate nach der letzten grossen Eruption dieses Vulcans aufgefangen habe:

	Vol.	Druck.	Temp. C.	Vol. bei 0° u. 1 ^m Dr.
Aufängliches Volumen .	114.9	0.6944	20.4	74.24
Nach Absorption mit Mn .	112.9	0.6958	20.4	73.10
Nach Absorption mit KaH .	108.1	0.7092	20.6	71.29
Umgefülltes Gas . . .	136.7	0.3460	20.6	43.98
Nach d. Expl. mit Knallgas	137.2	0.3452	20.7	44.02
Nach Zulassung von Wasserstoff	190.4	0.3980	20.5	70.49
Nach der Explosion . .	152.7	0.3585	20.3	50.96
Nach der Absorpt. mit KaH	148.9	0.3665	18.9	51.04
Stickstoff	81.81			
Sauerstoff	14.21			
Kohlensäure	2.44			
Schwefelige Säure . .	1.54			
	100.00			

6. Chlorwasserstoffsäure.

Auch dieses Gas kann, wie die beiden vorhergehenden, durch eine Kalikugel absorbirt werden, wenn keine anderen sauren, im Wasser löslichen Gase zugegen sind.

Hat man dasselbe von Kohlensäure, Schwefelwasserstoff oder schwefeliger Säure zu trennen, so lässt sich die Analyse zwar vollständig genau ausführen, aber immer mit einiger Schwierigkeit, wenn das Volumen der Salzsäure gegen das der anderen Gase überwiegend gross ist.

Die Salzsäure wird, nachdem das Gemenge durch eine Phosphorsäurekugel ausgetrocknet ist, zuerst bestimmt. Dies kann durch eine Kugel von geschmolzenem Wismuthoxyd oder durch Zinkoxyd geschehen, welches feucht um das Ende des Platindrahtes zu einer Kugel geformt und dann in einer Spirituslampe geglüht wird. Allein man erhält durch das erstere eine etwas zu kleine und durch das letztere eine etwas zu grosse Absorption. Genauer werden die Resultate durch Anwendung eines neutralen krystallwasserreichen Salzes. Schwefelsaure Magnesia, auch Borax, vor Allem aber schwefelsaures Natron eignen sich ganz besonders zu diesem Zwecke. Man biegt das Ende eines Platindrahtes zu einem Knäuel zusammen und bildet darum eine möglichst kleine Kugel des Salzes, indem man das kleine Drahtknäuel wiederholt in das im Krystallwasser geschmolzene Salz eintaucht. Ist nur wenig Salzsäure vorhanden, so giebt diese Methode ein sehr scharfes Resultat; ist dagegen eine grössere Menge zu absorbiren, so tritt leicht der Fall ein, dass das Krystallwasser des schwefelsauren Natrons mehr als einige Gewichtsprocente Salzsäure aufnimmt, und zu einer Flüssigkeit zerfliesst, welche die Ablesung erschwert

und aus der eine kleine Menge gasförmiger Salzsäure mit den Wasserdämpfen abdunstet. Ist dies der Fall, so muss man von neuem vermittelt einer Phosphorsäurekugel austrocknen, die Absorption mit Glaubersalz wiederholen und abermals mit Phosphorsäure trocknen. Besser aber ist es immer, sogleich eine der zu absorbirenden Salzsäure entsprechende Menge Glaubersalz in Form einer Kugel in das Eudiometer einzuführen.

Nach Entfernung der Salzsäure absorbirt man auf die oben angegebene Weise die schwefelige Säure oder den Schwefelwasserstoff durch Braunstein und Phosphorsäure und bestimmt dann endlich noch die Kohlensäure durch Aetzkali. Ein nach dieser Methode ausgeführter Versuch gab:

	Vol.	Druck.	Temp. C.	Vol. bei 0° u. 1 ^m Dr.
Mit Ph getrocknete C und				
HS	104.8	0.7187	13.7	71.72
Nach Zusatz von HCl	167.4	0.7712	13.7	122.94
Nach der Absorption mit				
NaS + Aq.	105.6	0.7199	13.7	72.56
Nach dem Trocknen mit Ph	104.0	0.7207	13.2	71.52

Dies entspricht

	Angewandt.	Gefunden.
Kohlensäure und Schwefelwasserstoff	58.34	58.18
Salzsäure	41.66	41.82
	100.00	100.00

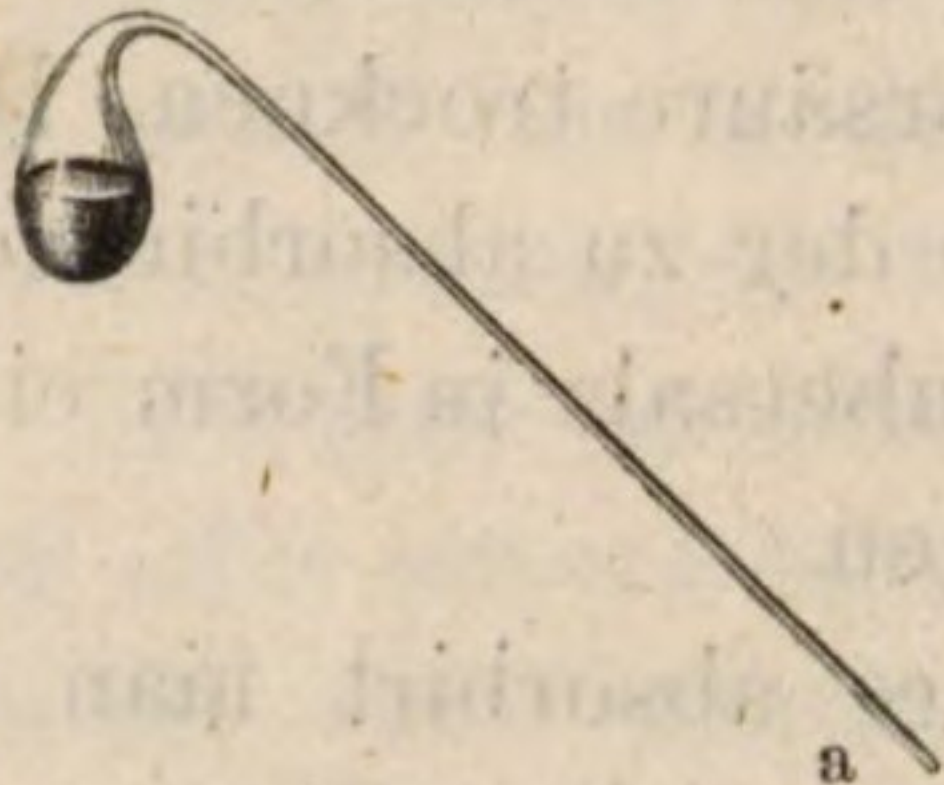
7. W a s s e r s t o f f.

Wasserstoffgas lässt sich sehr scharf durch Verbrennen mit Sauerstoffgas bestimmen. Die Darstellung des letzteren geschieht in kleinen, sechs bis zehn Cubik-



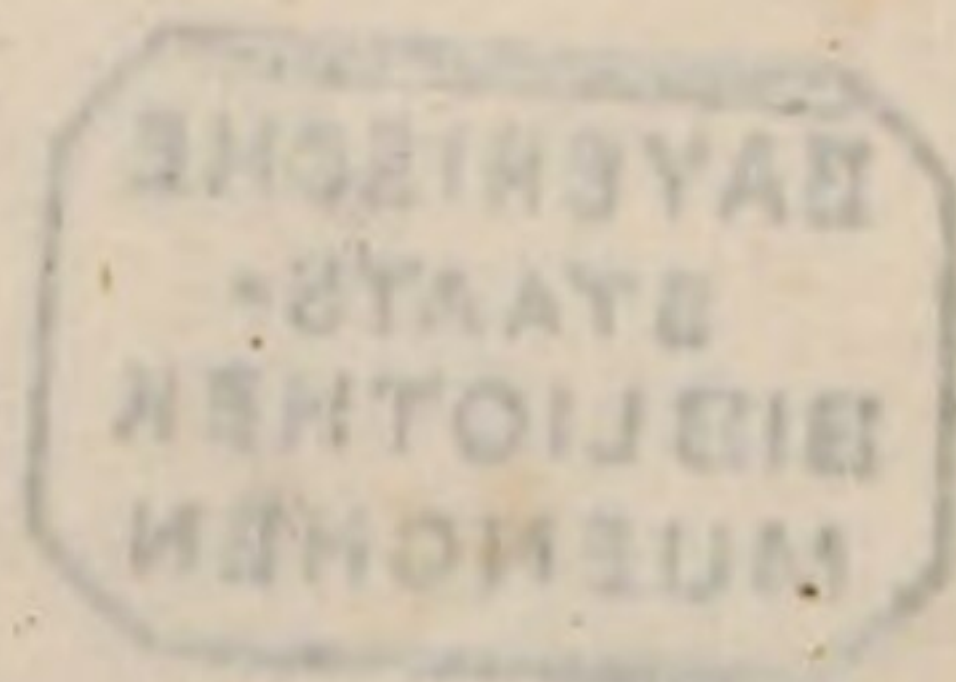
centimeter fassenden, aus einer Glasröhre vor der Lampe geblasenen Retorten, Fig. 38. Dieselben werden zur

Fig. 38.



Hälfte mit getrocknetem pulverisirten chlorsauren Kali gefüllt und darauf die Mündung des Ableitungsrohres bei *a* vor der Lampe etwas aufwärts gebogen. Man treibt zuerst die atmosphärische Luft durch eine rasche Sauerstoffentwicklung aus und leitet das Gas unmittelbar in das Eudiometer, indem man Sorge trägt, dass das Sauerstoffvolumen den drei- bis vierfachen Betrag des zu bestimmenden Wasserstoffs nicht übersteigt.

Der Wasserstoffgehalt beträgt $\frac{2}{3}$ des bei der Verbrennung verschwundenen Gasvolumens. Enthält das Gemenge zugleich absorbirbare Bestandtheile, so werden diese zuerst in einer Absorptionsröhre bestimmt und das zurückbleibende Gas sodann in das Verbrennungseudiometer übergefüllt. Durch die Anwesenheit von Stickstoff können erhebliche Fehler entstehen, wenn man bei der Verbrennung die Temperatur, bei welcher Salpetersäurebildung eintritt, nicht vermindert. Man darf daher nie versäumen, nach dem Versuche das Verhältniss des Stickstoffs zu dem verbrannten Knallgase zu berechnen. War dasselbe kleiner als 6 : 1, so muss die Analyse mit einem Zusatz von so viel Luft wiederholt werden, dass dieses oder ein grösseres Verhältniss erreicht wird. Ist dagegen die Wasserstoffmenge gegen das unverbrennliche Gas sehr gering, so fügt man so lange eine nicht gemessene Menge elektrolytisches Knallgas hinzu, bis die Grenze der vollständigen Verbrennlichkeit erreicht ist. Dies Knallgas verschwindet bei der Verbrennung vollständig wieder und



braucht daher nicht genau gemessen zu werden. Das zu den beiden folgenden Versuchen benutzte Wasserstoffgas war auf elektrolytischem Wege dargestellt.

	Vol.	Druck.	Temp. C.	Vol. bei 0° u. 1 ^m Dr.
Anfängliches Luftvolumen	269.4	0.5536	5.2	146.36
Nach Zul. von Wasserstoff	297.4	0.5806	5.4	169.45
Nach der Explosion . .	255.1	0.5386	5.5	134.69

	Angewandt.	Gefunden.
Luft	84.23	84.16
Wasserstoff . .	15.77	15.84
	100.00	100.00

Eine eben so grosse Uebereinstimmung lässt sich in Gemengen erreichen, die nur Spuren von Wasserstoff enthalten.

	Vol.	Druck.	Temp. C.	Vol. bei 5° u. 1 ^m Dr.
Anfängliches Luftvolumen	269.7	0.5585	5.9	150.49
Nach Zul. von Wasserstoff	271.6	0.5610	5.9	152.29
Nach Zul. von Knallgas .	358.4	0.6448	5.9	226.21
Nach der Verbrennung .	268.1	0.5574	5.9	149.37

	Angewandt.	Gefunden.
Luft	98.82	98.72
Wasserstoff . .	1.18	1.28
	100.00	100.00

Als Beispiel eines natürlich vorkommenden wasserstoffhaltigen Gemenges von complicirterer Zusammensetzung führe ich die Analyse noch eines Gases an, das ich im Sommer 1846 auf den grossen Fumarolenfeldern des Krafla- und Leyrhnúkr-Vulcans am Námarfjall in Island aufgesammelt habe:

	Vol.	Druck.	Temp. C.	Vol. bei 0° u. 1 ^m Dr.
Angewandtes Gas	94.0	0.6945	13.3	62.35
Nach Absorption des H S	73.7	0.6728	13.6	47.23
Nach Absorption der C	46.1	0.6502	13.6	28.55
Uebergefülltes Gas	96.8	0.3093	13.1	28.57
Nach Zusatz von Luft . . .	243.0	0.4534	13.6	105.06
Nach der Explosion	172.0	0.3839	13.7	62.88
Nach Behandlung mit K a H	168.6	0.3902	13.1	62.78

Wasserstoff 45.07

Schwefelwasserstoff 24.25

Kohlensäure 29.96

Stickstoff 0.72

Kohlenoxyd 0.00

Kohlenwasserstoff 0.00

100.00

8. Kohlenoxydgas.

$$\frac{1}{2} \text{ Vol. C} + \frac{1}{2} \text{ Vol. O} = 1 \text{ Vol.}$$

Kohlenoxydgas lässt sich von Grubengas, Wasserstoff, Stickstoff, Kohlensäure u. s. w. durch eine concentrirte Lösung von Kupferchlorür trennen, die vermittelt einer Papiermachékugel in die Messröhre gebracht wird. Man bestimmt zuerst die Kohlensäure vermittelt einer Kalikugel und dann das Kohlenoxyd durch Kupferchlorür, worauf man die vom sauren Kupferchlorür herrührenden Chlorwasserstoffdämpfe vermittelt einer Kalikugel hinwegnimmt. Ist Sauerstoff vorhanden, so wird dieser vor dem Einführen der Kupferchlorürkugel zuvor durch pyrogallussaures Kali absorbirt. Das zu dem nachstehenden Versuche benutzte Kohlenoxydgas wurde durch mässiges

Erhitzen von Ameisensäure mit Schwefelsäure bereitet und zur Beseitigung aller fremden Beimengungen durch eine concentrirte Aetzkalilösung geleitet.

	Vol.	Druck.	Temp. C.	Vol. bei 0° u. 1 ^m Dr.
Anfängl. Gemenge von				
N, H und C H ₂ . . .	80.3	0.6785	1.8	54.32
Nach Zulassung von C .	107.4	0.7162	0.5	76.78
Nach Absorption mit				
Cu Cl	80.0	0.6813	1.8	54.35
	Angewandt.		Gefunden.	
Gasgemenge	70.75		70.79	
Kohlenoxydgas . . .	29.25		29.21	
	100.00		100.00	

Kohlenoxydgas kann noch genauer dadurch ermittelt werden, dass man es mit Sauerstoffgas verbrennt und die gebildete Kohlensäure mit Kali absorbirt. Ist das Gemenge nicht vollständig verbrennlich, so setzt man elektrolytisches Knallgas hinzu, bis die richtige Grenze der Verbrennlichkeit erreicht ist. Die kohlenoxydhaltigen Gase, welche aus dem Brennmaterial der Schachtöfen entweichen, lassen sich am besten auf diese letztere Art analysiren. Ich wähle als Beispiel ein solches Gasgemenge, welches aus dem mit Holzkohlen betriebenen Schönsteiner Eisenhohofen in Kurhessen im Jahre 1845 6 Fuss über der Form durch ein Bohrloch in der Rauh-mauer aufgefangen war und welches nur aus Stickstoff, Wasserstoff und Kohlenoxyd besteht.

Zur Ableitung der Formel für die Verbrennungs-analyse von x Kohlenoxyd und y Wasserstoff ergeben sich mit Hülfe der S. 61 entwickelten Formeln folgende Elemente:

P = Gesamtvolumen beider Gase.

P_1 = Volumen der gebildeten Kohlensäure.

$$a = 1 \quad b = 1$$

$$a_1 = 1 \quad b_1 = 0$$

und daraus für

$$x = P_1$$

$$y = P - P_1.$$

Als Controle für die Richtigkeit der Analyse kann man die bei der Verbrennung des Gases beobachtete Contraction C benutzen.

Bei der Verbrennung von x Vol. Kohlenoxyd
 verschwinden + x Vol. Kohlenoxyd,
 ferner + $\frac{1}{2} x$ „ Sauerstoff,
 und werden neu gebildet . . — x „ Kohlensäure.

Die Contraction bei der Verbrennung des Kohlenoxydgases beträgt daher $\frac{1}{2} x$. Bei der Verbrennung von y Vol. Wasserstoff verschwindet $\frac{1}{2} y$ Vol. Sauerstoff und y Vol. Wasserstoff, oder im Ganzen $1\frac{1}{2} y$ Vol. Enthält daher das untersuchte Gas wirklich nur Wasserstoff und Kohlenoxyd, so muss der Bedingungsgleichung $\frac{1}{2} x + 1\frac{1}{2} y - C = 0$ Genüge geschehen.

Der Gang der Analyse ist im Einzelnen folgender: Man ermittelt zunächst, ob das Gasgemisch keine Kohlensäure enthält, durch deren Gegenwart die Verbrennungsanalyse unsicher werden würde.

	Vol.	Druck.	Temp. C.	Vol. bei 0° u. 1 ^m Dr.
Angewandtes Gasvolumen	98.9	0.6313	9.5	60.34
Dasselbe nach Absorption der $\ddot{C}$ durch Kali . .	97.7	0.6391	9.7	60.30

Nachdem die Abwesenheit der Kohlensäure diesem Versuche zufolge feststeht, handelt es sich nur noch darum, die entzündlichen Gase mit Sauerstoff zu ver-

brennen. Wenn man, wie in dem vorliegenden Falle, zu befürchten hat, dass die Verbrennung wegen einer zu grossen Stickstoffbeimengung nur unvollkommen erfolgen könnte, so muss man eine gemessene Menge Wasserstoff oder noch besser elektrolytisches Knallgas, das, wie wir früher gezeigt haben, bei der Verbrennung vollständig wieder verschwindet, dem Gase beimischen. Das auf diese Weise analysirte Gas gab:

	Vol.	Druck.	Temp. C.	Vol. bei 0° u. 1 ^m Dr.
Angewandtes Gasvolumen	149.7	0.4629	10.0	66.85
Nach Zusatz v. Wasserstoff	172.8	0.4842	9.9	80.75
Nach Zusatz von Sauerstoff	263.8	0.5761	9.8	146.71
Nach der Explosion . .	219.3	0.5317	9.7	112.61
Nach Absorption der Koh-				
lensäure	182.8	0.5022	9.7	88.65
Nach Zul. von Wasserstoff	372.9	0.6854	8.8	247.62
Nach der Explosion . .	212.9	0.5225	8.8	107.77

Nur die Volumina der ersten vier Beobachtungen werden feucht, die übrigen nach dem Trocknen mit einer Kalikugel gemessen. Die Messung der letzteren im Zustande völliger Trockenheit ist nothwendig, weil es sonst leicht geschehen kann, dass nach der Absorption der Kohlensäure an den Eudiometerwandungen unter dem Quecksilber noch Feuchtigkeit hängen bleibt, die nach dem Einlassen des Wasserstoffs wieder verdunstet, ohne dass wegen der mit Kalihydrat beschmutzten Eudiometerwände das der vorhandenen Temperatur entsprechende Tensionsmaximum sich herstellen kann. Will man des langwierigen Austrocknens, das selbst bei Anwendung sehr harter Kalikugeln 10 bis 12 Stunden in Anspruch nimmt, überhoben sein, so füllt man von dem nach der Verbrennung und Absorption der Kohlensäure gemessenen Gasvolumen eine

Portion in ein anderes Verbrennungseudiometer über und analysirt dieselbe in feuchtem Zustande nach der bei dem Sauerstoff und Stickstoff angegebenen Methode. Aus der gefundenen Zusammensetzung ergibt sich dann durch eine einfache Proportion der Sauerstoff- und Stickstoffgehalt des ganzen Volumens, von dem die Portion genommen war.

Das bei der Analyse angewandte Anfangsvolumen 66.85 besteht nicht aus brennbaren Gasen allein, sondern enthält ausser diesen noch Stickstoff, der zunächst zu ermitteln ist. Das nach Absorption der Kohlensäure übrig bleibende Volumen 88.65 enthält ausser diesem Stickstoff und dem anfangs zugesetzten unverbrannt gebliebenen Sauerstoff kein anderes Gas. Dieser Sauerstoff aber beträgt $\frac{1}{3}$ von dem bei seiner Verbrennung mit Wasserstoff verschwundenen Gasvolumen, also $\frac{247.62 - 107.77}{3} = 46.62$.

Der in dem Gasgemenge vorhandene Stickstoff ist daher $88.65 - 46.62 = 42.03$. Diese 42.03 von dem Anfangsvolumen 66.85 abgezogen, lassen an brennbaren Gasen $P = 24.82$. Eben so ergibt sich die bei der Verbrennung gebildete Kohlensäure $P = 112.61 - 88.65 = 23.96$, und die bei der Verbrennung stattgehabte Contraction $146.71 - 112.61 = 34.10$.

Diese Contraction ist nicht nur durch die ursprünglich vorhandenen brennbaren Gase, sondern zugleich auch durch die vor der Verbrennung hinzugesetzten 13.90 Vol. Wasserstoff hervorgebracht. Diese letzteren aber bewirken eine Contraction von $\frac{3}{2} \times 13.90 = 20.85$ Vol., welche daher von der Gesamtcontraction 34.10 abziehen sind, um die den brennbaren Gasen allein entsprechende Contraction C zu erhalten, nämlich $C = 34.10 - 20.85 = 13.25$.

Substituirt man die gefundenen numerischen Werthe in die betreffenden Gleichungen, so erhält man

$$\begin{aligned} x &= 23.96 \\ y &= 0.86 \\ \frac{1}{2} x + 1\frac{1}{2} y - C &= 0.02. \end{aligned}$$

Das Gasgemenge besteht daher aus:

Kohlenoxyd	. .	35.84
Wasserstoff	. .	1.29
Stickstoff	. .	62.87
		100.00

9. G r u b e n g a s.

$$\frac{1}{2} \text{ Vol. C} + 2 \text{ Vol. H} = 1 \text{ Vol.}$$

Hat man neben Grubengas noch Stickstoff zu bestimmen, so muss das Gemenge mit so viel atmosphärischer Luft verdünnt werden, dass die Temperatur bei der Verbrennung niedrig genug bleibt, um die Bildung von Salpetersäure zu verhindern. Wir haben oben gesehen, dass bei der Verbrennung eines Gemenges von Wasserstoff und Stickstoff die Salpetersäurebildung vermieden wird, wenn auf einen Theil der verbrennenden Gase ungefähr zwei bis fünf Theile der nicht verbrennlichen vorhanden sind. Bei der Analyse des Grubengases und aller derjenigen Kohlenwasserstoffe, in welchen mehrere Volumina Wasserstoff zu einem Volumen condensirt sind, ist es nöthig, eine noch grössere Verdünnung anzuwenden. Nimmt man auf 1 Vol. des zu untersuchenden Gases 8 bis 12 Vol. Luft und 2 Vol. Sauerstoff, so ist man sicher, selbst dann noch ein genaues Resultat zu erhalten, wenn nur reines Grubengas vorhanden war. Beträgt die Menge des letzteren

nur einen geringen Bruchtheil von dem Volumen des ganzen Gemisches, so erfolgt bei dieser Verdünnung keine Entzündung mehr. Für diesen Fall hat man dann nur so lange elektrolytisches Knallgas hinzuzufügen, bis die Grenze der Verbrennlichkeit wieder erreicht ist. Vor der Verbrennung muss das Knallgas durch Schütteln sehr gleichmässig mit dem Gasinhalt des Eudiometers vermischt werden, was dadurch leicht zu bewerkstelligen ist, dass man die Quecksilbersäule des Eudiometers in Schwingungen versetzt. Das Knallgas genauer zu messen, ist überflüssig, da es bei der Verbrennung vollständig wieder verschwindet. Ist neben dem Grubengas ausser Stickstoff noch Kohlenoxyd und Wasserstoff vorhanden, so können alle diese Gase durch eine einfache Verbrennungsanalyse bestimmt werden. Nennt man das Volumen des Kohlenoxyds x , das des Grubengases y und das des Wasserstoffs z , so ergeben sich für die S. 61 entwickelten Formeln folgende numerische Werthe:

$$\begin{array}{llllll} a = 1 & b = 1 & c = 1 & A = \frac{1}{2} & B = -\frac{1}{2} & C = \frac{3}{2} \\ a_1 = 1 & b_1 = 1 & c_1 = 0 & A_1 = \frac{3}{2} & B_1 = 0 & C_1 = -\frac{3}{2} \\ a_2 = \frac{1}{2} & b_2 = 2 & c_2 = \frac{1}{2} & A_2 = -1 & B_2 = 1 & C_2 = 0 \end{array}$$

und aus diesen, wenn man das Volumen der brennbaren Gase mit P , den verbrannten Sauerstoff mit P_2 und die bei der Verbrennung gebildete Kohlensäure mit P_1 bezeichnet, die gesuchten Gleichungen

$$x = P_1 - \left(\frac{2 P_2 - P}{3} \right)$$

$$y = \frac{2 P_2 - P}{3}$$

$$z = P - P_1.$$

Wir lassen als Beispiel die Analyse eines Gases folgen, welches im Juli 1848 aus dem Bodenschlamme eines

Teiches im botanischen Garten zu Marburg aufgefangen wurde und welches zuvor durch Aetzkali von Kohlensäure befreit war.

	Vol.	Druck.	Temp. C.	Vol. bei 0° u. 1 ^m Dr.
Anfängliches Volumen . .	120.5	0.3144	18.6	35.47
Nach Zusatz von Luft . .	271.9	0.4637	19.0	117.88
Nach Zusatz von Sauerstoff	312.2	0.5037	19.2	146.92
Nach der Explosion . .	264.9	0.4550	19.4	112.54
Nach Absorption der Koh- lensäure	233.6	0.4366	19.3	95.26
Nach Zulassung von Was- serstoff	320.3	0.5252	19.4	157.07
Nach der Explosion . .	278.7	0.4670	19.7	121.41

Die Menge der zugesetzten Luft beträgt 82.41 Vol., darin sind 65.14 Vol. Stickstoff und 17.27 Vol. Sauerstoff, welche man mit Hülfe der im Anhange gegebenen Tabelle VII. auf folgende Weise berechnet:

80.00 Vol. Luft enthalten . . .	63.2320 Vol. Stickstoff,
2.00 " " " " . . .	1.5808 " "
0.40 " " " " . . .	0.3161 " "
0.01 " " " " . . .	0.0079 " "
<u>82.41 Vol. Luft enthalten daher .</u>	<u>65.1368 Vol. Stickstoff.</u>

80.00 Vol. Luft enthalten . . .	16.7680 Vol. Sauerstoff,
2.00 " " " " . . .	0.4192 " "
0.40 " " " " . . .	0.0838 " "
0.01 " " " " . . .	0.0002 " "
<u>82.41 Vol. Luft enthalten daher .</u>	<u>17.2712 Vol. Sauerstoff.</u>

Diese 17.27 Vol. Sauerstoff und die direct zugesetzten 29.04 Vol. machen zusammen 46.31 Vol. aus. Nach Absorption der durch die Verbrennung gebildeten Kohlensäure bleiben 95.26 Vol. zurück, welche nur Stickstoff

und rückständigen unverbrannten Sauerstoff enthalten können. Durch die Verbrennung dieses letzteren mit überschüssigem Wasserstoff ergab sich eine Volumenverringernng von 35.66. Der dritte Theil davon oder 11.89 entspricht dem in jenen 95.26 Vol. enthaltenen Sauerstoff. Diese 11.89 von 95.26 abgezogen, geben 83.37 Vol. oder die Summe des ursprünglich im Gase enthaltenen und des mit der atmosphärischen Luft zugesetzten Stickstoffs. Zieht man den letzteren im Betrage von 65.14 ab, so bleibt für den ursprünglich im Gase vorhandenen Stickstoff 18.23, und für die mit diesem Stickstoff gemengten, der Analyse unterworfenen brennbaren Gase $17.24 = P$. Den verbrannten Sauerstoff findet man durch Abzug der nach der Verbrennung zurückgebliebenen Menge 11.89 von dem ursprünglich für sich und mit der atmosphärischen Luft zugesetzten 46.31 Sauerstoff zu $P_2 = 34.42$. Eben so giebt der Versuch für die gebildete Kohlensäure $P_1 = 17.28$. Durch Substitution dieser Werthe in die Formeln erhält man:

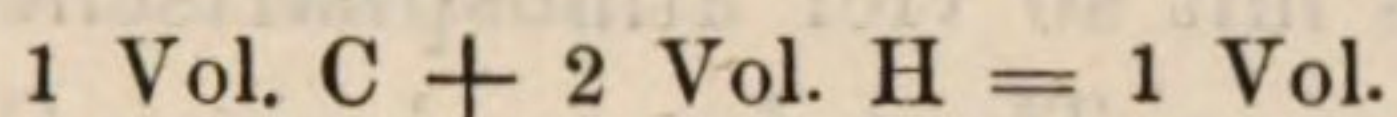
Grubengas . . .	17.20
Stickstoff . . .	18.23
Kohlenoxyd . . .	0.08
Wasserstoff . . .	— 0.04
	35.47

Da die für Kohlenoxyd und Wasserstoff gefundenen Werthe so gering sind, dass sie unvermeidlichen Beobachtungsfehlern zugeschrieben werden müssen, so lässt sich daraus schliessen, dass das untersuchte Gas nur aus Grubengas und Stickstoff besteht. Hätte der Versuch für eines der gefundenen Gase nicht nahezu 0 oder statt eines positiven Werthes einen negativen ergeben, so würde dies beweisen, dass das untersuchte Gemisch andere als

die darin angenommenen Gase enthielt und mithin die den Formeln zum Grunde liegenden Voraussetzungen unrichtig gewesen wären. Da der für Kohlenoxyd gefundene Werth innerhalb der Grenzen der möglichen Beobachtungsfehler liegt, so kann man denselben ganz ausser Acht lassen und erhält daher folgende Zusammensetzung des Gases in 100 Theilen:

Grubengas . . .	48.5
Stickstoff . . .	51.5
Kohlenoxyd . . .	0.0
Wasserstoff . . .	0.0
	100.0

10. Oelbildendes Gas (Elayl).



Um Elayl durch Absorption zu bestimmen, wendet man eine möglichst gesättigte, jedoch noch flüssige Lösung von wasserfreier Schwefelsäure in concentrirter wasserhaltiger an. Diese Lösung wird vermittelt einer Coaks-kugel in das trockene Gasgemenge gebracht und die dadurch im Eudiometer verbreiteten sauren Dämpfe nach vollendeter Absorption des Elayls vermittelt einer Kalikugel entfernt.

Enthält das Gas noch andere absorbirbare Gase, z. B. schwefelige Säure, Kohlensäure und Sauerstoff, so muss zuerst die schwefelige Säure, dann die Kohlensäure, dann das Elayl und zuletzt der Sauerstoff bestimmt werden.

Als Beispiel wählen wir zunächst ein Gemenge von Luft mit ölbildendem Gase:

	Vol.	Druck.	Temp. C.	Vol. bei 0° u. 1 ^m Dr.
Oelbildendes Gas . . .	67.2	0.5731	15.2	36.48
Nach Zusatz von Luft . .	140.1	0.6431	15.2	85.35
Nach Absorption durch S und KaH	68.2	0.5657	15.2	36.55

	Angewandt.	Gefunden.
Oelbildendes Gas .	57.25	57.18
Luft	42.75	42.82
	100.00	100.00

Noch genauer kann das ölbildende Gas durch Verbrennung mit Sauerstoff bestimmt werden. Wendet man dabei nicht viel mehr Sauerstoff an, als zur Verbrennung nöthig ist, so entstehen so heftige Explosionen, dass die Eudiometer gewöhnlich zerschmettert werden. Man muss daher das Gas mit so viel atmosphärischer Luft verdünnen, dass auf einen Theil des explosiven Gemenges gegen zwanzig Theile nicht verbrennliches Gas vorhanden sind. Es werden dann, wie die nachstehende, von Dr. Carius ausgeführte Analyse zeigt, sehr genaue Resultate erhalten. Das zu dem Versuche benutzte ölbildende Gas war aus Alkohol mit Schwefelsäure bereitet und, um es von allen fremden Beimengungen zu befreien, zuerst mit etwas Schwefelsäure und dann mit einer Kalikugel längere Zeit in Berührung gelassen.

	Vol.	Druck.	Temp. C.	Vol. bei 0° u. 1 ^m Dr.
Anfängliches Gasvolumen	36.7	0.2443	12.0	8.64
Nach Zusatz von Luft . .	311.2	0.5183	12.0	154.52
Nach Zusatz v. Sauerstoff	339.8	0.5462	12.5	177.48
Nach der Explosion . .	318.0	0.5261	12.0	160.26
Nach Absorption der Koh- lensäure	290.1	0.5130	11.2	142.96

Diese Versuche geben:

Für das angewandte Gas . . $P = 8.64$,
 für die gebildete Kohlensäure $P_1 = 17.3$,
 für den verbrannten Sauerstoff $P_2 = 25.91$.

Hätte das untersuchte Gas noch zwei andere Gemengtheile von bekannter Zusammensetzung enthalten, so würden sich dieselben aus den drei Werthen P , P_1 , P_2 durch Rechnung haben finden lassen. Substituirt man die Werthe in die Formeln für ein Gemenge von Elayl mit noch zwei anderen Gasen, z. B. mit Kohlenoxyd und Grubengas, so muss die Rechnung für die letzten 0 oder nahe 0 geben, wenn das untersuchte Gas nur aus Elayl bestand.

Die Bedingungsgleichungen für ein Gemenge von x Elayl, y Kohlenoxyd und z Grubengas ergeben sich aber, wie folgt, mit Hülfe der oben entwickelten allgemeinen Formel aus den Elementen:

$$\begin{array}{llllll} a = 1 & b = 1 & c = 1 & A = +1.5 & B = -1 & C = -2 \\ a_1 = 2 & b_1 = 1 & c_1 = 1 & A_1 = -1.5 & B_1 = -1 & C_1 = +2.5 \\ a_2 = 3 & b_2 = 1/2 & c_2 = 2 & A_2 = 0 & B_2 = +1 & C_2 = -1 \end{array}$$

$$x = P_1 - P$$

$$y = \frac{2 P_1 + 2 P - 2 P_2}{3}$$

$$z = \frac{4 P + 2 P_2 - 5 P_1}{3}$$

Durch Substitution der gefundenen Werthe von P , P_1 und P_2 erhält man:

Für Elayl 8.66,
 für Kohlenoxyd . . + 0.02,
 für Grubengas . . - 0.04.

also für die letzteren beiden Gase innerhalb der Beobachtungsfehler fallende Werthe.

Als weiteres Beispiel mag hier noch eine Analyse Platz finden, welche Dr. M. Hermann mit dem merkwürdigen Gasgemenge angestellt hat, welches bei der Einwirkung einer alkoholischen Kalilösung auf Formylsuperbromid entsteht:

	Vol.	Druck.	Temp. C.	Vol. bei 0° u. 1 ^m Dr.
Angewandtes Gasvolumen	141.4	0.1763	16.9	23.48
Nach Zul. von Sauerstoff .	356.8	0.3857	16.9	129.60
Nach der Explosion . .	325.4	0.3563	16.8	109.23
Nach Absorption der Koh-				
lensäure	268.7	0.3159	17.2	79.86

$$P = 23.48$$

$$P_1 = 29.37$$

$$P_2 = 26.26.$$

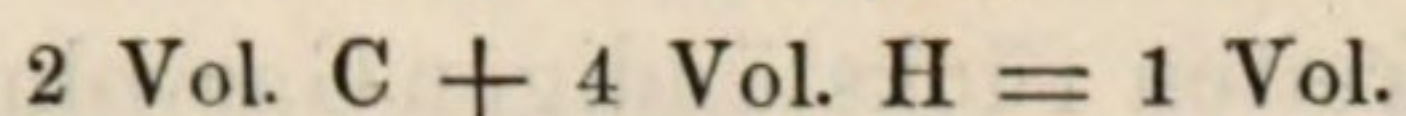
Diese Werthe in die Formeln substituirt, geben:

Für Elayl	5.89,
für Kohlenoxyd .	17.73,
für Grubengas . .	— 0.14.

Wäre die Natur der in dem Gase vorhandenen Gemengtheile zweifelhaft gewesen, so würde der Umstand, dass die Formel für Grubengas einen 0 genäherten Werth giebt, mit grosser Wahrscheinlichkeit dafür sprechen, dass die den Bedingungsgleichungen zu Grunde liegenden Voraussetzungen richtig sind, d. h. dass das Gas wirklich nur aus Kohlenoxyd und Elayl in folgendem Verhältniss besteht:

Kohlenoxyd . .	75.06
Elayl	24.94
	100.00

11. Ditetrylgas.



Ditetrylgas findet sich neben Elayl in den Producten der trockenen Destillation von Steinkohlen. Es lässt sich wie das letztere und wie fast alle Kohlenwasserstoffe von der Form C_nH_n durch rauchende Schwefelsäure absorbiren. Die quantitative Bestimmung bietet, selbst wenn noch Elayl zugegen ist, keine Schwierigkeiten dar. Ein Beispiel wird die dabei zu befolgende Methode am leichtesten verständlich machen. Ich wähle dazu das aus Cannelkoal bereitete Leuchtgas einer Gasfabrik zu Manchester, welches acht Gemengtheile, nämlich Schwefelwasserstoff, Kohlensäure, Stickstoff, Kohlenoxyd, Grubengas, Wasserstoff, Elayl und Ditetryl enthält. Man bestimmt zunächst im Absorptionsrohr Schwefelwasserstoff und Kohlensäure, nämlich:

	Vol.	Druck.	Temp. C.	Vol. bei 0° u. 1 ^m Dr.
Anfängliches Gasvolumen	120.5	0.7250	2.8	86.48
Nach Absorpt. des Schwefelwasserstoffs . . .	120.0	0.7259	2.8	86.23
Nach Absorption der Kohlensäure	114.4	0.7341	3.0	83.06

Daraus ergibt sich die Zusammensetzung

a.

Schwefelwasserstoff . . .	0.25
Kohlensäure	3.17
Elayl	} 83.06
Ditetryl	
Stickstoff	
Kohlenoxyd	
Wasserstoff	
Grubengas	} 86.48

Mit dem auf diese Art von Kohlensäure und Schwefelwasserstoff befreiten rückständigen Gasvolumen 83.06 werden folgende gesonderte Analysen angestellt. Mit einer Portion *A* bestimmt man durch rauchende Schwefelsäure das gemeinschaftliche Volumen des Elayls und Ditetryls. Das nach dieser Bestimmung übrig bleibende Gas *B* wird in ein Eudiometer übergefüllt und durch Verbrennung mit Sauerstoff nach der früher angegebenen Methode analysirt. Dieselbe Verbrennungsanalyse wiederholt man endlich noch mit einer dritten Portion *C* von demjenigen Gase, das nur von Kohlensäure und Schwefelwasserstoff, aber noch nicht von Elayl und Ditetryl befreit wurde, nämlich

Analyse *A*.

	Vol.	Druck.	Temp. C.	Vol. bei 0° u. 1 ^m Dr.
Anfängliches Gas . . .	103.1	0.7266	3.3	74.02
Nach Absorption mit S .	96.5	0.7217	2.4	69.04

Daraus folgt:

b.

Ditetryl	}	4.98
Elayl		
Stickstoff	}	69.04
Kohlenoxyd		
Wasserstoff		
Grubengas		
		74.02

Berechnet man diese Zusammensetzung auf das Volumen 83.06 der Analyse *a.*, so erhält man:

c.	
Schwefelwasserstoff	0.25
Kohlensäure	3.17
Elayl	} 5.59
Ditetryl	
Stickstoff	} 77.47
Kohlenoxyd	
Wasserstoff	
Grubengas	
	86.48

Die Zusammensetzung des 77.47 betragenden Gasgemenges ergibt sich aus der

Analyse B.

	Vol.	Druck.	Temp. C.	Vol. bei 0° n. 1 ^m Dr.
Anfängliches Volumen .	256.0	0.3395	2.0	86.28
Nach Zulassung von Luft	750.7	0.7358	2.2	547.90
Nach Zul. von Sauerstoff .	814.3	0.7394	2.2	597.25
Nach der Explosion . .	688.0	0.6754	2.2	460.95
Nach Absorption der C	645.1	0.6537	0.5	420.94
Nach Zul. von Wasserstoff	819.0	0.7490	0.5	612.30
Nach der Explosion . .	675.3	0.6696	0.6	451.16

Angewandtes Gas	83.91
Verbrauchter Sauerstoff . .	92.39
Gebildete Kohlensäure . .	40.01
Stickstoff	2.37

Stickstoff	2.37
Kohlenoxyd	6.39
Wasserstoff	43.90
Grubengas	33.62
86.28	

Dies giebt, auf die 77.47 Volumentheile der Analyse c. berechnet:

d.

Schwefelwasserstoff		0.25
Kohlensäure		3.17
Elayl	}	5.59
Ditetryl		
Stickstoff		2.13
Kohlenoxyd		5.74
Wasserstoff		39.42
Grubengas		30.18
		86.48

Um das Verhältniss des Elayls zum Ditetryl zu bestimmen, bedarf es nur noch einer Analyse der Gasportion *C*, welche mit Ausnahme von Kohlensäure und Schwefelwasserstoff alle übrigen Gasbestandtheile enthält:

Analyse *C*.

	Vol.	Druck.	Temp. C.	Vol. bei 0° u. 1 ^m Dr.
Anfängliches Gas . . .	70.5	0.1593	3.2	11.10
Nach Zulassung von Luft	294.1	0.3588	2.3	104.46
Nach Zulassung von O .	343.2	0.4008	3.0	136.06
Nach der Explosion . .	315.9	0.3775	3.0	117.96
Nach der Absorpt. mit KH	297.2	0.3781	3.2	111.07

Die angewandten 11.10 Volumina Gas bestehen der Analyse d. zufolge aus:

e.

Elayl	}	0.747
Ditetryl		
Stickstoff		0.284
Wasserstoff		5.268
Kohlenoxyd		0.767
Grubengas		4.034
		11.100

Die Mengen Wasserstoff, Kohlenoxyd und Grubengas, welche in diesen 11.1 Vol. enthalten sind, würden bei der Verbrennung 16.353 Contraction und 4.801 Vol. Kohlensäure gegeben haben. Dieselben Gase mit Einschluss der 0.747 Vol. Elayl und Ditetryl verbrannt, geben aber, der Analyse *C* zufolge, 18.100 Contraction und 6.890 Kohlensäure. Die bei der Verbrennung auf Kosten des Elayls und Ditetryls stattgehabte Contraction beträgt daher $18.100 - 16.353 = 1.747$, und die aus den 0.747 Vol. jener beiden Gase gebildete Kohlensäure $6.890 - 4.800 = 2.090$. Man hat daher folgende Rechnungselemente:

Angewandtes Gas	0.747	<i>A</i>
Gebildete Kohlensäure	2.089	<i>B</i>
Contraction bei der Verbrennung . . .	1.747	<i>C</i>

Ein Vol. Elayl (1 Vol. *C* + 2 Vol. *H*) giebt 2 Vol. Kohlensäure und 2 Vol. Contraction. Ein Vol. Ditetryl (2 Vol. *C* + 4 Vol. *H*) giebt 4 Vol. Kohlensäure und 3 Vol. Contraction.

Berechnet man das Verhältniss beider Gase aus der Summe ihrer Volumina *A* und aus der bei ihrer Verbrennung gebildeten Kohlensäure *B*, so ergibt sich, wenn *x* die Menge des Elayls und *y* die Menge des Ditetryls bezeichnet:

$$1) \quad x + y = A,$$

$$2) \quad 2x + 4y = B,$$

und daraus

$$y = \frac{B - 2A}{2},$$

$$x = A - \frac{B - 2A}{2}.$$

Dies giebt, mit Zugrundelegung der eben gefundenen numerischen Werthe von *A* und *B*:

Ditetryl	0.298
Elayl	0.449
	0.747

Aus der Contraction C erhält man ferner noch die Formel

$$3) \ 2x + 3y = C$$

und durch Combination mit der Gleichung 1):

$$y = C - 2A,$$

$$x = A - C + 2A.$$

Die mit Hülfe dieser Formeln abgeleitete Zusammensetzung wird:

Ditetryl	0.253
Elayl	0.494
	0.747

Die nahe Uebereinstimmung beider Berechnungen kann als eine Bestätigung dafür betrachtet werden, dass das Gemenge der Annahme gemäss nur aus Elayl und Ditetryl bestand. Nimmt man das Mittel aus beiden Resultaten und berechnet man den in 0.747 gefundenen Ditetryl- und Elaylgehalt auf die 5.59 Vol. der Analyse d., so erhält man für die Zusammensetzung des Gases:

Stickstoff	2.13
Schwefelwasserstoff	0.25
Kohlensäure	3.17
Elayl	3.53
Ditetryl	2.06
Kohlenoxyd	5.74
Wasserstoff	39.42
Grubengas	30.18
	86.48

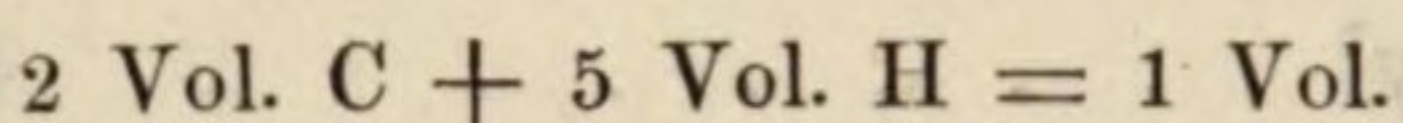
oder in 100 Theilen:

Wasserstoff	45.58
Grubengas	34.90
Kohlenoxyd	6.64
Elayl	4.08
Ditetryl	2.38
Schwefelwasserstoff	0.29
Stickstoff	2.46
Kohlensäure	3.67
	100.00

Das untersuchte Gas enthält also acht Bestandtheile, und unter diesen sechs brennbare. Gesellt sich noch ein durch Schwefelsäure absorbirbarer Kohlenwasserstoff als neuntes Gas hinzu, so lässt sich auch dieses noch mit Hülfe der Formeln 1), 2), 3) bestimmen. Ebenso kann ein zu den nicht durch Schwefelsäure condensirbaren Gasen noch hinzutretender Kohlenwasserstoff als zehnter Gemengtheil bestimmt werden, wenn man das Kohlenoxydgas nicht durch Verbrennung, sondern durch Absorption mit Kupferchlorür zuvor ermittelt hat. Endlich kann man noch eine Bedingungsgleichung gewinnen, durch welche die Bestimmung eines elften brennbaren Gemengtheiles ermöglicht wird, wenn man nach der früher mitgetheilten Methode das Wasserdampfvolumen misst, welches bei der Verbrennung der Gase erzeugt wird.

Da ein Sauerstoffgehalt in solchen Gemengen ebenfalls noch leicht durch pyrogallussaures Kali bestimmt werden kann, so sieht man, dass die gasometrische Analyse noch Mittel bietet, um unter Umständen zwölf mit einander gemengte, theils brennbare, theils nicht brennbare Gase von einander zu scheiden.

12. A e t h y l.



Die Analyse des Aethyls sowie aller derjenigen Kohlenwasserstoffe, welche ihre Bestandtheile in einem sehr condensirten Zustande enthalten, kann auf dieselbe Art wie die des Elayls und Ditetryls ausgeführt werden, nur muss in dem Maasse, als die Condensation eine grössere ist, die bei der Verbrennung zugesetzte Luftmenge vermehrt werden. So hat man z. B., um ein Volumen Aethyl, welches sieben Volumina Kohlenstoffdampf und Wasserstoff zu einem Volumen condensirt enthält, zu verbrennen, die zwanzig- bis vierundzwanzigfache Menge Luft und die sechs- bis siebenfache Menge Sauerstoff zuzusetzen. Man wendet daher bei der Analyse solcher Gase am besten Eudiometer von 0.8 bis 1.0 Meter Länge an.

Als Beispiel lasse ich eine der vor längerer Zeit von Professor Frankland in meinem Laboratorium ausgeführten Analysen des reinen Aethyls folgen:

	Vol.	Druck.	Temp. C.	Vol. bei 0° u. 1 ^m Dr.
Angewandtes Gas . . .	91.8	0.1186	12.8	10.40
Nach Zusatz von Luft . .	471.2	0.5215	13.0	234.56
Nach Zusatz von Sauerstoff	535.1	0.5800	12.9	296.35
Nach der Verbrennung .	498.8	0.5461	12.8	260.19
Nach Absorption der Koh- lensäure	454.3	0.5043	13.0	218.69
Nach Zulassung von H .	644.7	0.6769	13.1	416.41
Nach der Verbrennung .	532.7	0.5770	13.0	293.39

	Gefunden.	Berechnet.
Angewandtes Gas	10.40	10.36
Verbrannter Sauerstoff . .	67.26	67.35
Gebildete Kohlensäure . .	41.50	41.45

Die Uebereinstimmung der gefundenen und der nach der Formel $2 \text{ Vol. C} + 5 \text{ Vol. H} = 1 \text{ Vol.}$ berechneten Zahlen beweist, dass das untersuchte Gas reines Aethyl war.

Dritter Abschnitt.

Specifisches Gewicht der Gase

Bekanntlich nennen wir das Gewicht, welches verschiedene Gase bei gleichem Volumen besitzen, das specifische Gewicht derselben. Da der von einem Gase eingenommene Raum nach der mit der geographischen Breite und Meereshöhe wechselnden Schwere variabel ist, und ausserdem von der Temperatur und dem Drucke abhängt, so müssen alle in absolutem Maasse gemessenen Gasvolumina, um unter sich verglichen werden zu können, auf dieselbe geographische Breite und Meereshöhe, auf denselben Barometerdruck und auf dieselbe Temperatur bezogen werden.

Nach den genauesten Versuchen, welche wir den classischen Arbeiten Regnault's verdanken, nimmt 1 Grm. atmosphärische Luft im Meeresniveau unter dem 45sten Grade der Breite bei 0° C. und 0^m76 Quecksilberdruck 773.526 Cubikcentimeter ein. In der Breite φ und in einer Erhebung von h Toisen über dem mittleren Meeresniveau wird dies Volumen

$$V = 773.526 \cdot \frac{1 + \frac{2h}{3266322}}{1 - 0.0025935 \cos 2\varphi}$$

in welchem Ausdruck die Zahl 3266322 für die Länge des Erdradius in Toisen gesetzt ist.

In der geographischen Breite von $52^{\circ}36'$, also z. B. in der Breite von Berlin würde ein Grm. trockner Luft bei 0° und 0^m76 Druck gerade 773 Cubikcentimeter einnehmen.

Die Genauigkeit gasometrischer Bestimmungen ist selten so gross, dass die von den Veränderungen der Schwere abhängenden Unterschiede nicht noch innerhalb der Grenze möglicher Beobachtungsfehler lägen. Man kann daher, wo es nicht, wie bei Normalbestimmungen, auf die grösste Genauigkeit ankommt, das Volumen von 1 Grm. trockener Luft bei 0° C. und 0^m76 Quecksilberdruck in runder Zahl zu 773 Cubikcentimeter annehmen und das specifische Gewicht einer Gasart als die Zahl definiren, welche angiebt, wieviel 773 Cubikcentimeter derselben in Grammen wiegen.

In der mit „Spec. Gew.“ bezeichneten Verticalspalte der im Anhange mitgetheilten Tab. V. sind die specifischen Gewichte der bekannteren Gase und ihre Bestandtheile zusammengestellt. Die Zahlen für Sauerstoff, Wasserstoff und Stickstoff sind die von Regnault durch directe Versuche gefundenen, die übrigen sind aus folgenden Atomgewichten mit Hülfe des Gay-Lussac'schen Volumengesetzes berechnet:

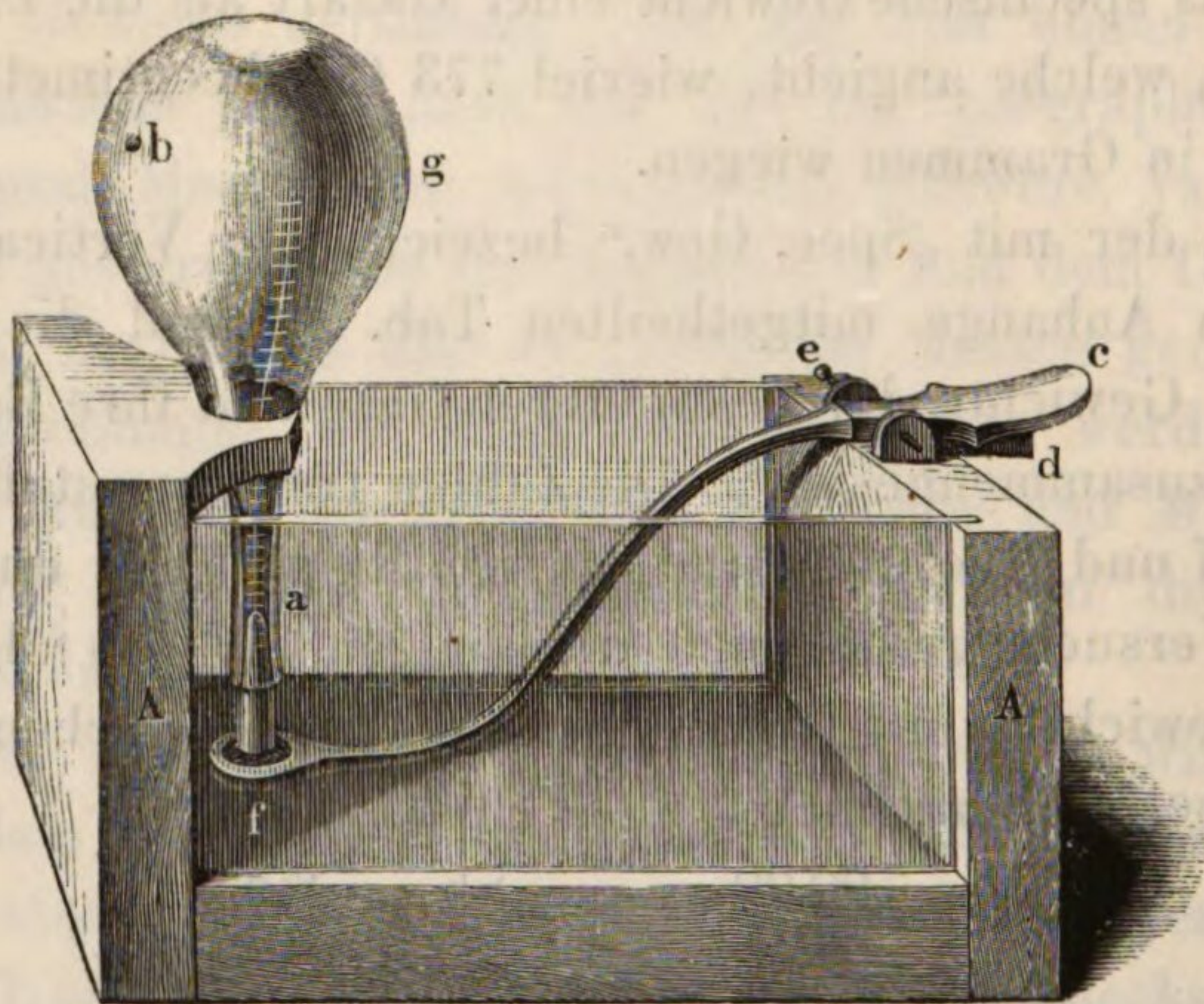
O = 100.00	Sb = 806.25
S = 200.00	As = 468.75
Se = 491.20	Ph = 193.75
Te = 806.50	Si = 266.25
Cl = 221.87	Bo = 136.25
Br = 489.40	C = 75.00
J = 794.37	M = 193.75
Fl = 120.00	

Der Rechnung ist die Regnault'sche Fundamentalbestimmung zum Grunde gelegt, der zufolge 1000 Cubikcentimeter Sauerstoff unter $52^{\circ}36'$ Breite im mittleren Meeresniveau bei 0° C. und 0.76 Quecksilberdruck 1.43028 Grm. wiegen.

Die Bestimmung des specifischen Gewichtes von Gasen und Gasgemengen ist eine sehr wichtige Operation bei gasanalytischen Untersuchungen.

Wo es sich nicht um Normalbestimmungen handelt, wendet man zur Volumenmessung von Gasen, deren specifisches Gewicht bestimmt werden soll, ein gewöhnliches, möglichst leichtes und dünnwandiges Digerirkölbchen *g*, Fig. 39, von 200 bis 300 Cubikcentimeter Inhalt an. Der

Fig. 39.



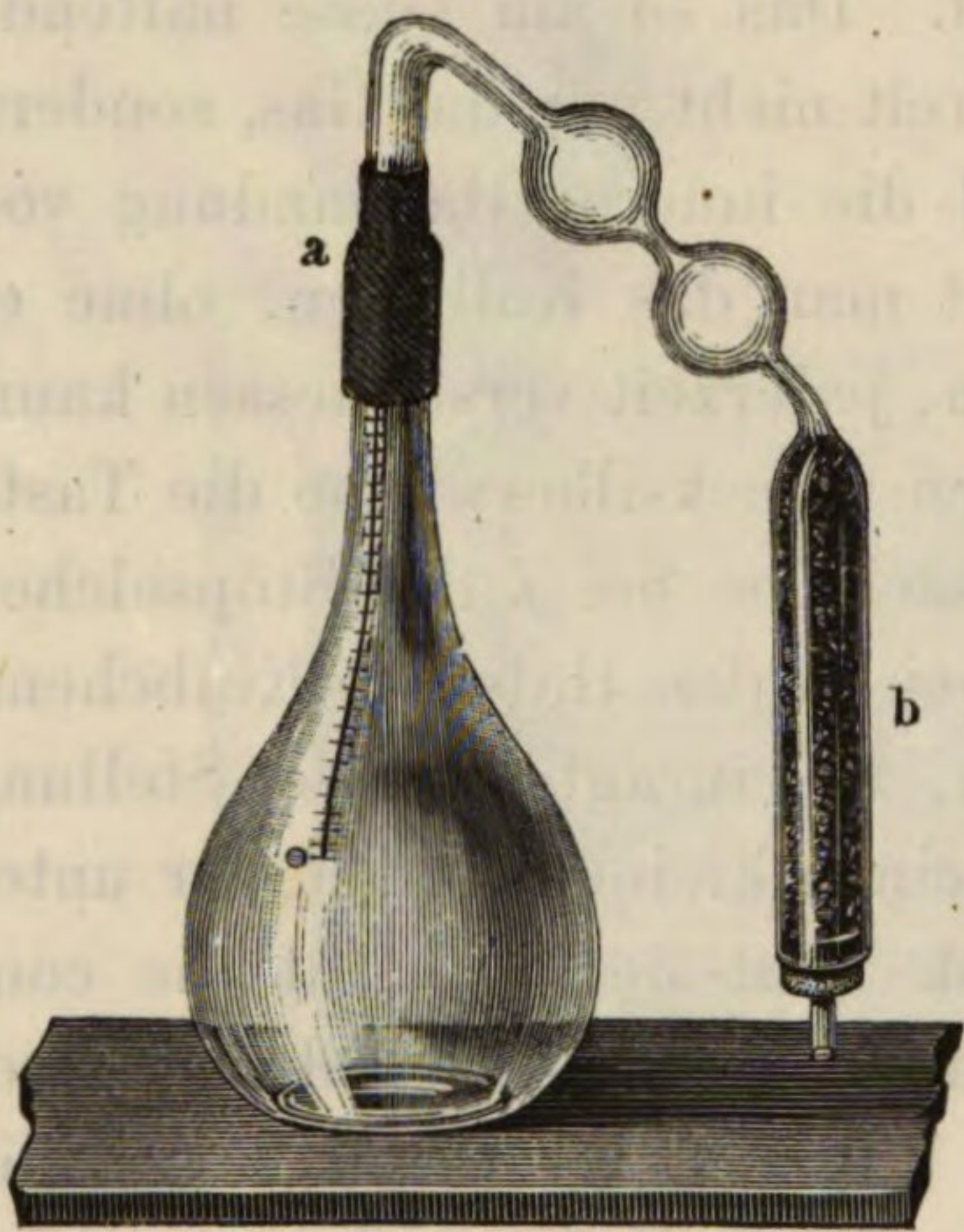
vor der Glasbläserlampe verdickte Hals *a* desselben ist bis zu einem strohhalmsdicken Lumen ausgezogen und durch ein sorgfältig mit feinem Schmirgel und Terpenthinöl eingeschliffenes Glasstöpselchen luftdicht verschliessbar gemacht. Durch diesen Hals, der mit einer

eingeätzten Millimetertheilung versehen ist, füllt man die Flasche mittelst eines mit seinem Stiele bis zum Boden reichenden Trichters mit Quecksilber an, hängt sie in der kleinen Quecksilberwanne *AA* mit der Mündung nach unten gekehrt auf und lässt so viel von dem Gase eintreten, dass das innere Quecksilberniveau einige Theilstriche höher an der Theilung des Halses steht, als das äussere in der Wanne. Um das Gas vor jeder Luftverunreinigung zu bewahren, entwickelt man es aus einem möglichst kleinen Gefässe mit engem Entwicklungsrohre, lässt es feucht in das Kölbchen treten und trocknet es in diesem selbst aus. Zu diesem Zwecke lässt man vor dem Eingiessen ein kleines Stückchen Chlorcalcium *b* mittelst eines Wassertröpfchens an der inneren Glaswandung ankrystallisiren, was leicht durch abwechselndes Erwärmen und Abkühlen gelingt. Das so am Glase haftende Chlorcalciumstückchen befreit nicht nur das Gas, sondern auch das Quecksilber und die innere Glaswandung von aller Feuchtigkeit. Damit man das Kölbchen, ohne es mit der Hand zu erwärmen, jederzeit verschliessen kann, befindet sich an der kleinen Quecksilberwanne die Taste *c*, in der durch eine Korkscheibe bei *f* das Stöpselchen so befestigt ist, dass es eben in den Hals des Kölbchens, ohne ihn zu verschliessen, hineinragt. Diese Stellung bewerkstelligt man durch einen kleinen Keil *d*, der unter die Taste *c* geschoben wird. Hat der Apparat die constante Temperatur *t* bei dem Barometerstande *P* angenommen, so liest man das Volumen des Gases *V* und die Höhe der kleinen, im Halse des Kölbchens über das äussere Niveau emporragenden Quecksilbersäule *p* mit dem Kathetometerfernrohr an der Theilung ab. Bezeichnet man das abgelesene, nach den Angaben einer Kalibrirungstabelle in Cubikcentimetern ausgedrückte Gasvolu-

men durch V_1 , so beträgt dessen Volumen bei 0°C. und 0.76 Quecksilberdruck $\frac{V_1 (P - p)}{0.76 (1 + 0.00366 t)} = V_2$ Cubikcentimeter.

Von diesem Volumen V_2 ist jetzt nur noch das Gewicht G_2 zu bestimmen. Dies geschieht auf folgende Weise: Man lüftet den Keil d und verschliesst dadurch das Kölbchen, welches nach Entfernung des Tastenstiftes e mittelst der Taste aus dem Quecksilber entfernt und dann auf das Sorgfältigste äusserlich von allen anhängenden Unreinigkeiten befreit wird. Es kann nun gewogen werden, nachdem es die Temperatur der Waage t_1 bei dem Barometerstande P_1 angenommen hat. Das gefundene Gewicht in Grammen sei G . Man entfernt dar-

Fig. 40.



auf den Glasstöpsel, ersetzt ihn durch ein mittelst eines Kautschukrohres a , Fig. 40, befestigtes Trockenrohr b , bringt den Apparat unter die Glocke einer Luftpumpe und entfernt die Luft, die man abwechselnd so oft wieder eintreten lässt und wieder auspumpt, bis man überzeugt sein kann, dass alles Gas im Kolben durch trockene Luft verdrängt ist. Wiegt der so mit Luft gefüllte Apparat G_1 Gramme, so beträgt das Gewicht G_2 des im Kölbchen abgemessenen Gasvolumens V_2 :

$$G_2 = G - G_1 + \frac{V_1 P_1}{773 \times 0.76 \times (1 + 0.00366 t_1)} *).$$

Mit Hülfe dieser Werthe erhält man das specifische Gewicht S :

$$S = 773 \frac{G_2}{V_2}.$$

Als Beispiel gebe ich eine Dichtigkeitsbestimmung des Brommethylgases, die in einem kleinen Ballon von ungefähr 44 Cubikcentimeter Inhalt ausgeführt wurde. Die Beobachtung gab:

$V_1 = 42^{\text{cc}}19$	$G = 7^{\text{g}}9465$
$P = 0^{\text{m}}7464$	$G_1 = 7^{\text{g}}8397$
$p = 0^{\text{m}}0243$	$P_1 = 0^{\text{m}}7421$
$t = 16^{\circ}8 \text{ C.}$	$t_1 = 6^{\circ}2 \text{ C.}$

Aus diesen Daten folgt das specifische Gewicht 3.253. Nach der chemischen Zusammensetzung hätte es 3.224 sein müssen, nämlich:

$2 \times 773 \text{ CC. Kohlenwasserstoffdampf}$	$= 1.6584$
$6 \times 773 \text{ „ Wasserstoff}$	$. . . = 0.4156$
$2 \times 773 \text{ „ Bromdampf}$	$. . . = 10.8217$
$4 \times 773 \text{ „ Brommethyl}$	$. . . = 12.8957$
$1 \times 773 \text{ „ Brommethyl}$	$. . . = \frac{12.8957}{4} = 3.2239$

Man befindet sich nicht selten in der Lage, bei gasometrischen Untersuchungen nur einige Cubikzoll Gas verwenden zu können. Dann reicht das zu Gebote stehende

*) Das ungleiche specifische Gewicht des Glases und Quecksilbers einerseits und der Metallgewichte andererseits ist bei dieser Rechnung ausser Acht gelassen, da der daraus entspringende Fehler im Vergleich zu den Beobachtungsfehlern unerheblich ist.

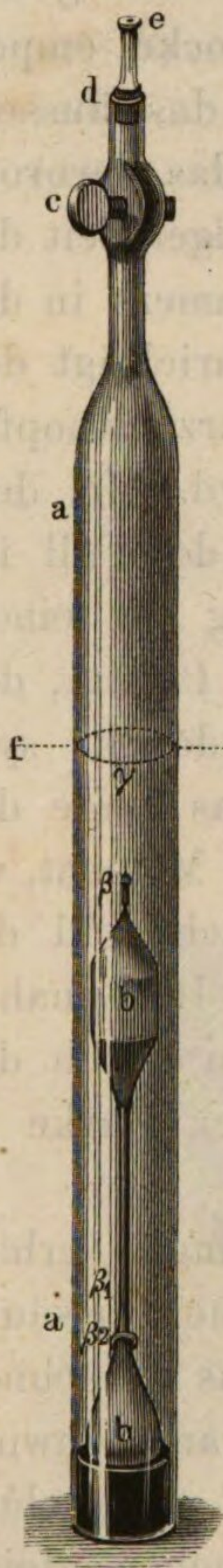
Material nicht mehr aus, um damit eine specifische Gewichtsbestimmung nach der eben beschriebenen Methode auszuführen. Ich bediene mich in diesem Falle eines anderen Verfahrens, das mit ein bis zwei Cubikzoll Gas noch hinlänglich genaue Resultate giebt.

Dasselbe gründet sich auf die Thatsache, dass die specifischen Gewichte zweier Gase, die aus engen Oeffnungen in dünner Platte strömen, sich nahezu verhalten wie die Quadrate ihrer Ausströmungsgeschwindigkeiten. Hat ein Gas vom specifischen Gewichte s die Ausströmungsgeschwindigkeit t und ein anderes vom specifischen Gewichte s_1 die Ausströmungsgeschwindigkeit t_1 , so ist der Zusammenhang zwischen der Ausflussgeschwindigkeit und dem specifischen Gewichte durch die Gleichung $\frac{s_1}{s} = \frac{t_1^2}{t^2}$ gegeben. Wird s oder das specifische Gewicht des einen Gases gleich 1 gesetzt, so erhält man das specifische Gewicht des anderen aus der Formel $s_1 = \frac{t_1^2}{t^2}$.

Fig. 41 stellt den Apparat vor, der zu dergleichen Bestimmungen dient. Die bei c mit einem Glashahn versehene, ungefähr 70 C.C. fassende Glasglocke aa , ist bei d mit einem gläsernen eingeschliffenen Röhrenaufsatz versehen, dessen unteres Ende offen, dessen oberes Ende e aber mit einem aufgeschmolzenen stannioldicken Platinplättchen verschlossen ist, in welchem sich die Ausströmungsöffnung befindet. Um die Platinplatte möglichst dünn und die Oeffnung möglichst fein zu erhalten, durchsticht man das Platinblech mit einer feinen Nähnadel und hämmert es so lange mit einem polirten Hammer auf einem polirten Ambos, bis die Oeffnung für das blosse Auge nicht mehr wahrnehmbar ist und nur eben noch sichtbar wird, wenn man die Platinplatte zwi-

schen das Auge und eine helle Lichtflamme bringt. Die so durchlöchernte Platte wird zu einem kleinen kreisrun-

Fig. 41.



den Scheibchen ausgeschnitten, in dessen Mittelpunkt sich die feine Ausströmungsöffnung befindet. Das Aufschmelzen dieses Scheibchens auf das obere Ende des Röhrenaufsatzes *de* lässt sich sehr leicht vor der Glasbläserlampe bewerkstelligen, wenn man dasselbe auf das aufgeblasene Ende des Röhrenaufsatzes legt und den überstehenden Glasrand gegen dasselbe zusammenfallen lässt.

Damit man die zu prüfenden Gase stets unter denselben Druckverhältnissen aus der Oeffnung *e* strömen lassen kann, befindet sich in der Glocke *aa* der möglichst leichte und daher am besten aus einer sehr dünnwandigen Glasröhre gefertigte Schwimmer *bb*, welcher bei β mit einem kleinen Knopfe von schwarzem Glase versehen ist, aus dem sich noch ein kleiner weisser Glasfaden erhebt. Um das untere Stielende dieses Schwimmers sind ferner bei β_1 und β_2 zwei kleine schwarze Glasfäden geschmolzen, die gleich dem oberen schwarzen Glasknopfe als Marken dienen.

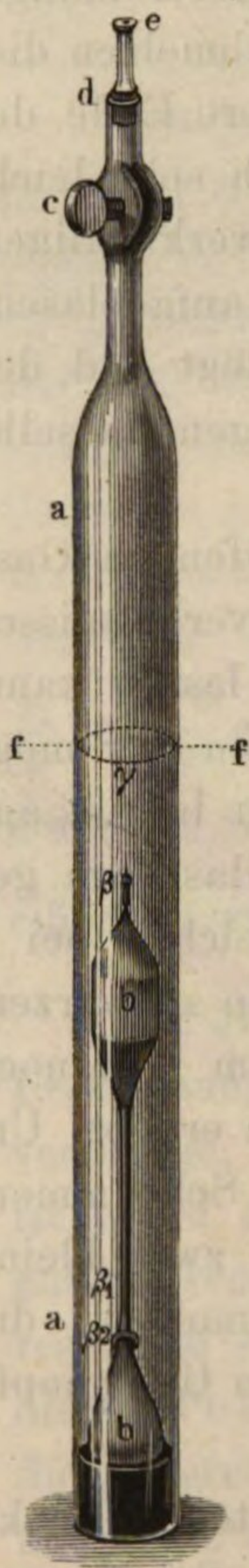
Wird die das Gas enthaltende Glocke mit dem darin befindlichen Schwimmer so tief in Quecksilber getaucht, dass eine an der Glocke befindliche Marke γ das äussere obere Quecksilberniveau *ff* tangirt, so ist der Schwimmer durch ein auf die Quecksilberoberfläche *ff* eingestelltes Fern-

rohr nicht mehr sichtbar. Lässt man darauf das Gas

durch das feine Loch der Platinplatte ausströmen, indem man den Hahn *c* öffnet, so steigt der von der inneren Quecksilberoberfläche getragene Schwimmer in der Glocke empor. Wird während dieser Zeit das äussere Quecksilberniveau *ff* durch das Fernrohr beobachtet, so tritt nach einiger Zeit der weisse Glasfaden des Schwimmers in das Gesichtsfeld ein und benachrichtigt den Beobachter, dass der schwarze Knopf β kurz darauf erscheinen wird. In dem Momente, wo dies Letztere der Fall ist, beginnt die Zeitbeobachtung mit einem halbe Secunden schlagenden Pendel, den man mit einer guten Secundenuhr synchronisch gemacht hat. Das Ende der Zeitbeobachtung fällt in den Moment, wo die Marke β_2 in das Gesichtsfeld des Fernrohres tritt, wobei das Herannahen dieses Zeitpunktes wiederum durch das vorangehende Erscheinen der Marke β_1 angezeigt wird.

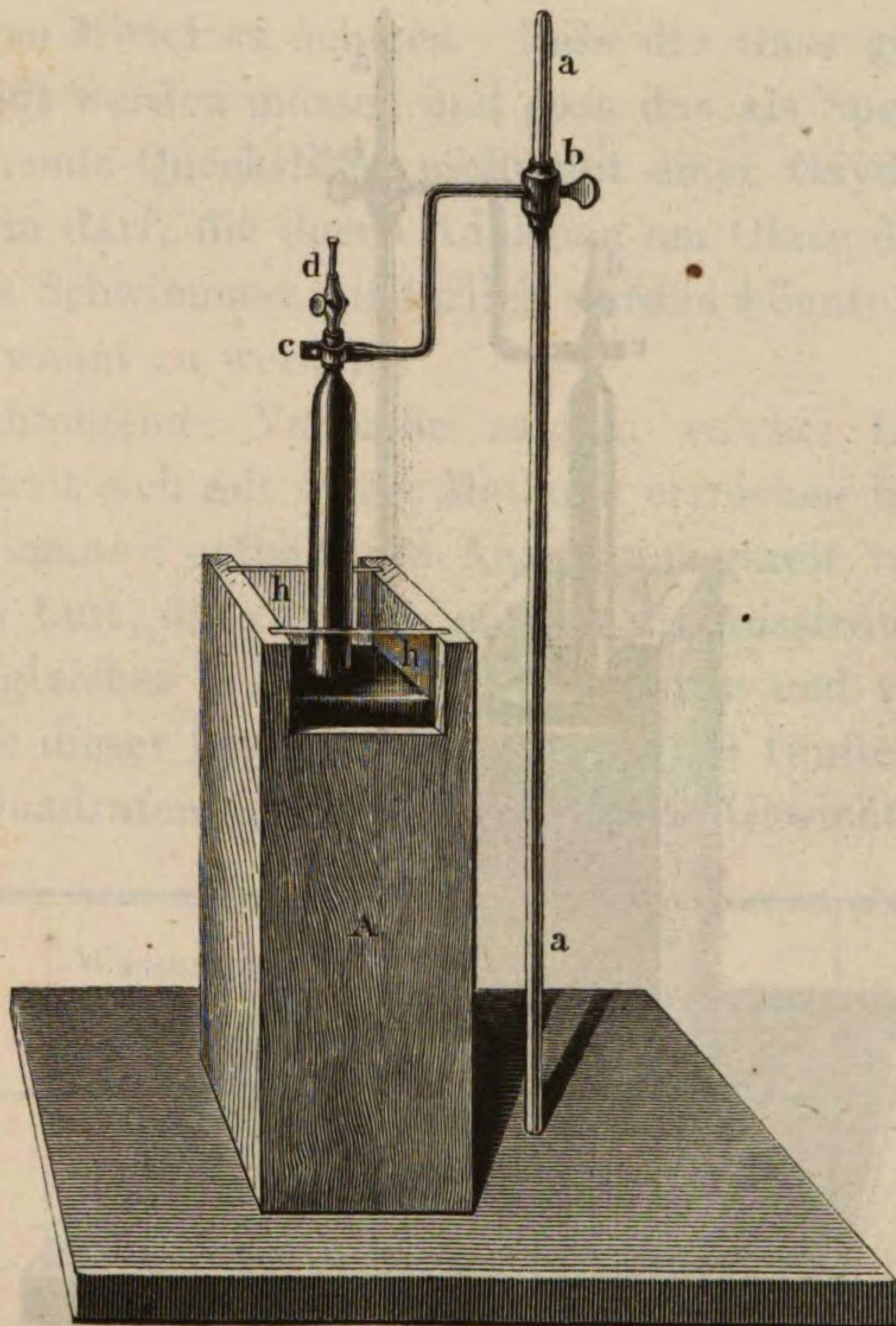
Durch diese Beobachtungen erhält man die Ausströmungszeit einer Gassäule, welche, von der Marke γ aus gerechnet, die durch die Marken $\beta\beta_1$ am Schwimmer bezeichnete Länge hat, und welche unter einer bei allen Versuchen gleich bleibenden Summe von Druckdifferenzen ausströmt. Diese für verschiedene Gase gemessenen Ausströmungszeiten geben, aufs Quadrat erhoben, das Verhältniss der specifischen Gewichte.

Fig. 42.



Zur bequemerer Handhabung der Ausströmungsglocke dient die Vorrichtung Fig. 43. *aa* ist ein Halter, an des-

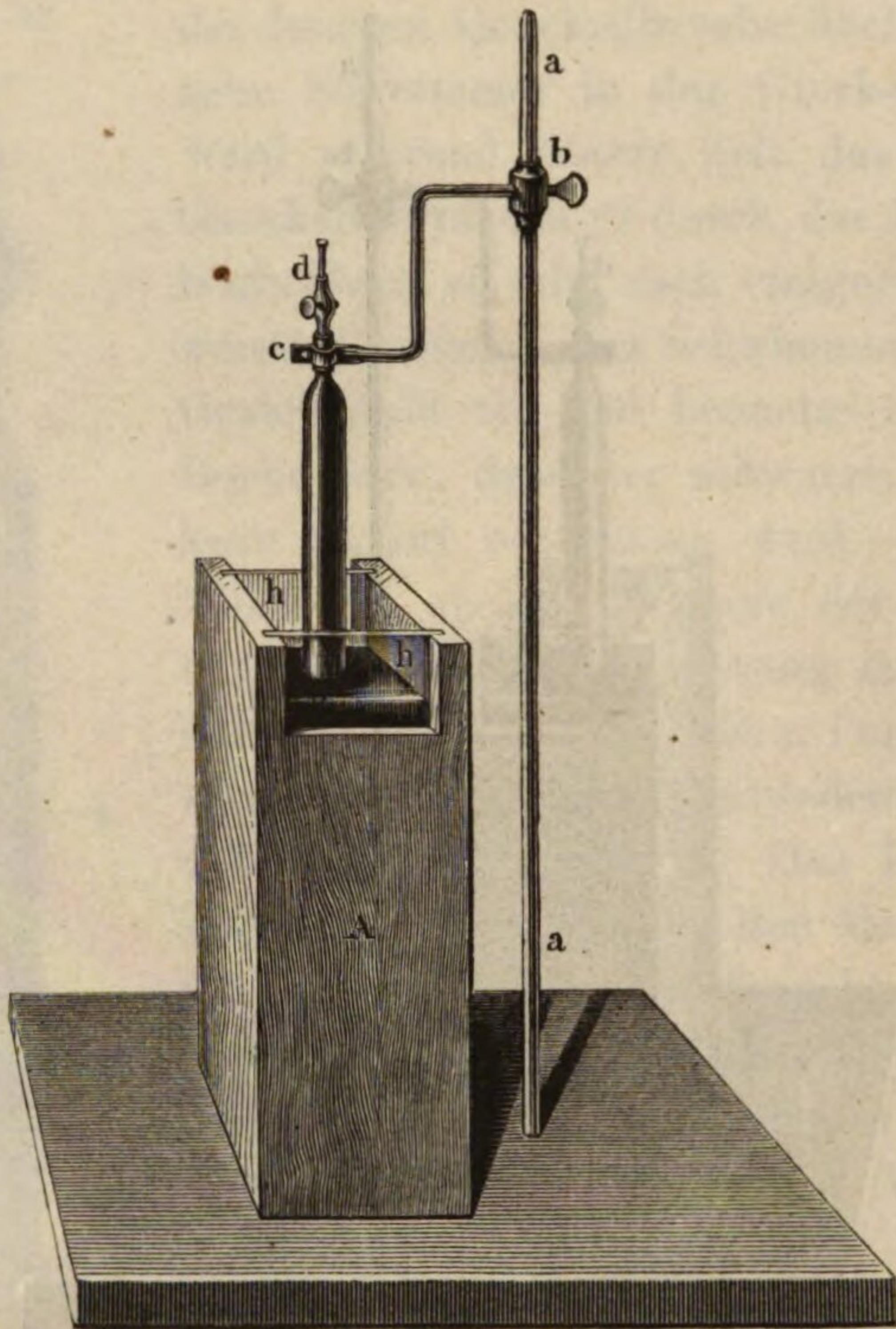
Fig. 43.



sen verschiebbaren, mit Stellschraube versehenem Arme die Glocke eingeklemmt ist. Mittelst dieses Armes kann dieselbe in die cylindrische Ausbohrung des die Quecksilberwanne *hh* bildenden Holzklotzes bis dicht unter den Hahn in das Quecksilber eingesenkt werden, wobei sie sich, wenn der Hahn geöffnet ist, mit Quecksilber füllt. Schliesst man den Hahn und zieht man die den Schwimmer und das Quecksilber enthaltende Glocke wieder em-

por, so lässt sie sich vom unteren Rande aus auf gewöhnliche Weise mit Gas füllen, was noch leichter, wenn eine

Fig. 44.



grössere Menge Gas zu Gebote steht, dadurch geschehen kann, dass man von der Oeffnung *d* aus den Gasstrom durch die den Schwimmer enthaltende emporgezogene, mit Luft gefüllte, unten durch das Quecksilber der Wanne abgesperrte Glocke so lange leitet, bis die Luft völlig ausgetrieben und durch das zugeleitete Gas verdrängt ist. Der Eintritt der Marken des Schwimmers in den Quecksilberhorizont wird mit dem Kathetometerfernrohr

durch die aus Spiegelscheiben hh bestehenden Wände der Quecksilberwanne beobachtet. Es ist am zweckmässigsten, mehrere Beobachtungen auszuführen und aus denselben das Mittel zu nehmen. Dass die Gase getrocknet angewandt werden müssen und dass das als Sperrflüssigkeit dienende Quecksilber nicht mit einer Oxydhaut bedeckt sein darf, die durch Adhäsion am Glase der Bewegung des Schwimmers hinderlich werden könnte, braucht kaum erwähnt zu werden.

Nachfolgende Versuche zeigen, welcher Grad von Genauigkeit sich mit dieser Methode erreichen lässt. Die erste Columne t enthält die Ausströmungszeit von einem Volumen Luft, die zweite t_1 enthält die Ausströmungszeit für ein gleiches Volumen Gas, die dritte und vierte die Quadrate dieser beobachteten Zeiten, die fünfte das aus diesen Quadraten berechnete specifische Gewicht.

Luft t	Wasserstoff t_1	t^2	t_1^2	$\frac{t_1^2}{t^2}$
105.5	29.7	11130	882.09	0.0792
105.0	30.0	11025	900.00	0.0816
105.5	29.5	11130	870.25	0.0782
105.6	29.3	11151	858.48	0.0770
105.5		11130		

Luft t	Sauerstoff t_1	t^2	t_1^2	$\frac{t_1^2}{t^2}$
102.5	108.5	10506	11772	1.1205
103.0	109.0	10609	11881	1.1199
102.8	108.5	10961	11772	1.1140

Luft t	Kohlensäure t_1	t^2	t_1^2	$\frac{t_1^2}{t^2}$
102.7	127.0	10547	16129	1.5292
	127.5		16257	1.5414

Luft t	Elektrolyt. Knallgas t_1	t^2	t_1^2	$\frac{t_1^2}{t^2}$
117.9	75.4	13900	568.52	0.4090
117.0	75.5	13689	570.03	0.4164
117.9	75.5	13900	570.03	0.4101
117.6	75.6	13830	571.54	0.4133
	75.9		576.08	0.4166

Luft t	1 Vol. C + 1 Vol. C t_1	t^2	t_1^2	$\frac{t_1^2}{t^2}$
117.9	130.5	13900	17030	1.2251
	127.0		16129	1.1603
	130.5		17030	1.2251

Die Mittel der aus diesen Versuchen berechneten specifischen Gewichte sind in der ersten Columne der nachfolgenden Tabelle zusammengestellt. Die zweite Columne enthält dieselben Werthe, aus dem Atomgewicht berechnet.

G a s e.	I.	II.	Differenz.
Luft	1.000	1.000	
Kohlensäure	1.535	1.520	+ 0.015
1 Vol. C + 1 Vol. C̈ .	1.203	1.244	— 0.041
Sauerstoff	1.118	1.106	+ 0.012
Elektrolytisch. Knallgas	0.414	0.415	— 0.001
Wasserstoff	0.079	0.069	+ 0.010

Man sieht, dass die Uebereinstimmung zwischen den gefundenen und berechneten Zahlenwerthen eine sehr befriedigende ist. Für technische Zwecke, wie z. B. zur Bestimmung der Dichtigkeit von Leuchtgasen dürfte daher die beschriebene Methode ihrer grossen Einfachheit wegen jeder anderen vorzuziehen sein.

Vierter Abschnitt.

Absorptionserscheinungen der Gase.

Gasförmige Körper werden von Flüssigkeiten, auf welche sie keine chemischen Wirkungen ausüben, in Mengenverhältnissen absorhirt, welche abhängig sind:

- 1) von der substantiellen Natur der Gase und der absorbirenden Flüssigkeiten,
- 2) von der Temperatur, und
- 3) von dem Drucke.

Wir nennen die auf 0° und 0^m76 Quecksilberdruck reducirten Gasvolumina, welche von der Volumeneinheit einer Flüssigkeit unter dem Quecksilberdruck 0^m76 absorhirt werden, Absorptionscoëfficienten.

Der Werth dieser Coëfficienten nimmt im Allgemeinen mit wachsender Temperatur nach einem Verhältniss ab, welches von der chemischen Natur des absorbirten Gases und der absorbirenden Flüssigkeit abhängt. Die Werthe der Absorptionscoëfficienten für verschiedene Temperaturen lassen sich nur auf empirischem Wege bestimmen.

Dagegen besteht ein gesetzmässiger Zusammenhang zwischen der absorbirten Gasmenge *) und dem Drucke, unter welchem die Absorption erfolgt: Die Menge des absorbirten Gases ändert sich dem Drucke proportional.

Der Absorptionscoefficient einer Gasart ist daher bestimmt, wenn das auf 0° reducirte Volumen derselben V vor der Absorption unter dem Drucke P , und das nach der Absorption übrig bleibende, auf 0° reducirte Volumen V_1 unter dem Drucke P_1 , sowie das absorbirende Flüssigkeitsvolumen h_1 bekannt ist.

Es ist nämlich die von dem Flüssigkeitsvolumen h_1 unter dem Drucke P_1 absorbierte Gasmenge gleich der ursprünglichen Gasmenge weniger der nach der Absorption übrig gebliebenen, $\frac{VP}{0.76} - \frac{V_1 P_1}{0.76}$. Hätte der Druck bei der Absorption nicht P_1 , sondern 0.76 betragen, so würde dem eben erwähnten Gesetze zufolge die absorbierte Gasmenge $\frac{VP}{P_1} - V_1$ gewesen sein. Daraus folgt der Absorptionscoefficient, d. h. die vom Flüssigkeitsvolumen 1 bei 0,76 Druck absorbierte Gasmenge:

$$1) \quad \alpha = \frac{1}{h_1} \left(\frac{VP}{P_1} - V_1 \right).$$

Ist dieser Absorptionscoefficient α bekannt, so findet man die von der Flüssigkeitsmenge h unter dem Drucke P absorbierte Gasmenge g aus der Gleichung:

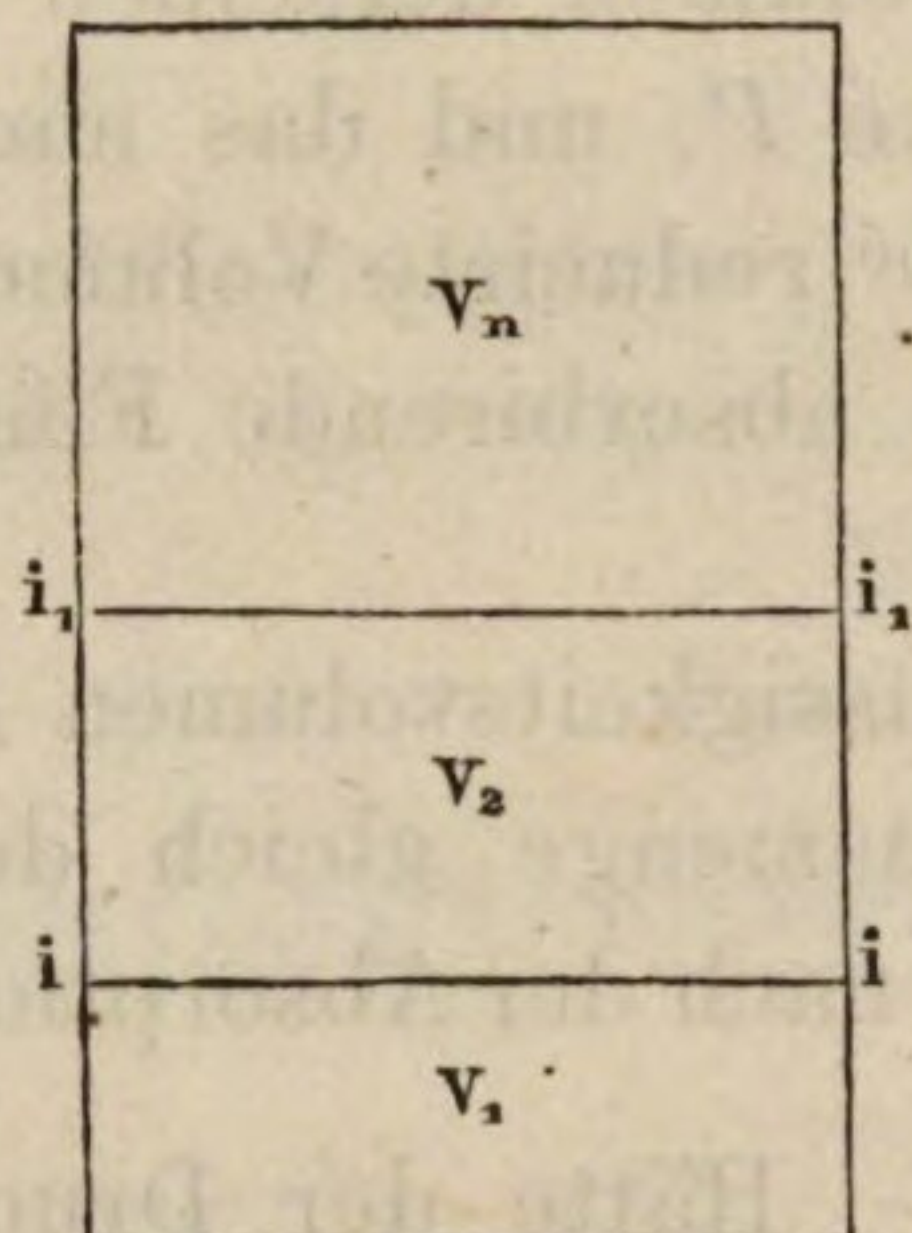
$$2) \quad g = \frac{\alpha h P}{0.76}.$$

Sind zwei oder mehrere Gase mit einander gemischt,

*) Unter dem Ausdrucke „Gasmenge“ oder „reducirtes Volumen“ ist hier und in der Folge stets das auf 0° und 0^m76 Quecksilberdruck reducirte Gasvolumen zu verstehen.

so erfolgt die Absorption der Gemengtheile proportional dem Drucke, welchen jeder dieser Gemengtheile für sich ausübt. Denkt man sich die substantiell verschiedenen Gasvolumina v_1 v_2 v_n , Fig. 45, jedes unter dem Drucke P

Fig. 45.



unvermischt über einander gelagert, also z. B. durch die Diaphragmata i i und i_1 i_1 von einander getrennt, so wird jedes der Gase, und also auch das Gas v_1 , mit dem Drucke P gegen das absperrende Diaphragma drücken. Werden die Diaphragmata und mit ihnen die Hindernisse beseitigt, welche der Wirkung jenes Druckes entgegenstanden, so werden die Theilchen von v_1 vermöge ihres Druckes P in die keinen absperrenden Widerstand leistenden Gase v_2 v_n eindringen. Die Bewegung der Gas-theilchen von v_1 wird mit einem Gleichgewichtszustande endigen, der dann eintreten muss, wenn der Druck, welchen die Theilchen von v_1 ausüben, an jedem Punkte des Raumes $v_1 + v_2 + v_n$ gleichgross geworden ist, d. h. wenn das Gas v_1 den Raum $v_1 + v_2 + v_n$ mit gleichförmiger Dichtigkeit erfüllt hat. Das Gas, welches ursprünglich bei dem Drucke P das Volumen v_1 einnahm, hat sich mithin auf den Raum $v_1 + v_2 + v_n$ ausgedehnt. Sein Druck ist daher jetzt dem Mariotte'schen Gesetze zufolge

$$\frac{v_1}{v_1 + v_2 + v_n} P.$$

Durch eine ähnliche Betrachtung findet man, dass die Gase v_2 und v_n nach der Vermischung und dem eingetretenen Gleichgewichtszustande unter den Pressungen

$$\frac{v_2}{v_1 + v_2 + v_n} P \text{ und } \frac{v_n}{v_1 + v_2 + v_n} P$$

stehen. Aus diesen Druckanteilen der Gemengtheile setzt sich die totale Pressung des Gemenges zusammen, nämlich:

$$P = \frac{v_1}{v_1 + v_2 + v_n} P + \frac{v_2}{v_1 + v_2 + v_n} P + \frac{v_n}{v_1 + v_2 + v_n} P.$$

Die absorbirte Gasmenge jedes einzelnen Gemengtheils ist proportional diesen Druckanteilen $\frac{v_1}{v_1 + v_2 + v_n} P$, die man mit dem Ausdrucke „partielle Pressungen“ der Gemengtheile von dem „totalen Drucke“ des Gemenges unterscheiden kann.

Besteht ein bei der Absorption unveränderliches Gasgemisch aus zwei oder mehreren substantiell verschiedenen Gasmenigen $v_1 v_2 v_n$, und bezeichnet man deren respective Absorptionscoëfficienten für die Beobachtungstemperatur mit $\alpha_1 \alpha_2 \alpha_n$, so nimmt das Flüssigkeitsvolumen h unter dem Drucke P folgende Gasmenigen auf:

vom ersten Gase:

$$\frac{\alpha_1 h P v_1}{0.76 (v_1 + v_2 + v_n)},$$

vom zweiten Gase:

$$\frac{\alpha_2 h P v_2}{0.76 (v_1 + v_2 + v_n)},$$

und vom n ten Gase:

$$3) \frac{\alpha_n h P v_n}{0.76 (v_1 + v_2 + v_n)}.$$

In der Einheit des absorbirten Gases sind daher enthalten:

vom ersten Gase:

$$u_1 = \frac{\alpha_1 v_1}{\alpha_1 v_1 + \alpha_2 v_2 + \alpha_n v_n},$$

vom zweiten Gase:

$$u_2 = \frac{\alpha_2 v_2}{\alpha_1 v_1 + \alpha_2 v_2 + \alpha_n v_n}$$

und vom nten Gase:

$$4) \quad u_n = \frac{\alpha_n v_n}{\alpha_1 v_1 + \alpha_2 v_2 + \dots + \alpha_n v_n}.$$

Sind umgekehrt die in der Einheit der absorbirten Gase enthaltenen Gasmengen $u_1 u_2 \dots u_n$ bekannt, so enthält das zur Absorption verwandte und während derselben von constanter Zusammensetzung erhaltene freie Gasgemenge in der Einheit:

vom ersten Gase:

$$v_1 = \frac{\frac{u_1}{\alpha_1}}{\frac{u_1}{\alpha_1} + \frac{u_2}{\alpha_2} + \dots + \frac{u_n}{\alpha_n}},$$

vom zweiten Gase:

$$v_2 = \frac{\frac{u_2}{\alpha_2}}{\frac{u_1}{\alpha_1} + \frac{u_2}{\alpha_2} + \dots + \frac{u_n}{\alpha_n}}$$

und vom dritten Gase:

$$5) \quad v_n = \frac{\frac{u_n}{\alpha_n}}{\frac{u_1}{\alpha_1} + \frac{u_2}{\alpha_2} + \dots + \frac{u_n}{\alpha_n}}.$$

Diese Formeln sind nur unter der Voraussetzung gültig, dass das Gas in Folge der Absorption selbst keine oder doch nur eine verschwindend kleine Aenderung in dem relativen Verhältniss seiner Gemengtheile erleidet. Sie gelten daher streng genommen nur für den Fall, wo ein unendlich grosses oder ein unaufhörlich erneuertes

Gasgemisch von gleichbleibender Zusammensetzung auf ein endliches Flüssigkeitsvolumen einwirkt. Kann man das Flüssigkeitsvolumen gegen das Gasvolumen nicht als verschwindend klein betrachten, so muss die Aenderung, welche durch die Absorption selbst in der Zusammensetzung des unabsorbirt gebliebenen Gases herbeigeführt wird, mit berücksichtigt werden.

Betrachten wir zunächst nur die Veränderungen, welche ein Gemisch von zwei Gasen durch Absorption erleidet, und nehmen wir dabei an, dass die sämtlichen in Betracht kommenden Gasvolumina auf 0° reducirt sind.

Das gesammte Gasvolumen bei dem Drucke P betrage V . In der Volumeneinheit dieses Gases seien v Volumina des ersten und v_1 Volumina des zweiten Gases enthalten. Der Absorptionscoëfficient des ersten Gases bei der Absorptionstemperatur sei α , der des zweiten β , und das absorbirende Flüssigkeitsvolumen h . Ferner betrage nach der Absorption das Gasvolumen des übrig gebliebenen Gases V_1 unter dem Drucke P_1 , und endlich enthalte die Volumeneinheit dieses rückständigen Gases u Volumina des ersten und u_1 Volumina des zweiten Gases.

Das Volumen V enthält $v V$ Volumina des ersten Gases bei P Druck oder $\frac{v V P}{0,76}$ Volumina bei 0^m76 Druck.

Dies Volumen zerlegt sich bei der Absorption in zwei Theile: der erste Theil x bleibt nach der Absorption als freies Gas zurück, der zweite x_1 ist der vom Wasser absorbirte. Dieser letztere ist durch das Absorptionsgesetz bestimmt: die Flüssigkeitseinheit absorbirt die Gasmenge α unter dem Drucke 0^m76 ; unter dem Drucke P_1 wird daher von h absorbirt:

$$\frac{\alpha h P_1}{0.76}.$$

Da aber das Volumen des ersten Gases durch seine Vermischung mit dem anderen von x auf $\frac{V_1 P_1}{0.76}$ ausgedehnt ist, so beträgt in Folge des partiaren Druckes die von h_1 absorbierte Gasmenge:

$$\frac{\alpha h x}{V_1} = x_1.$$

Man hat daher:

$$x + \frac{\alpha h x}{V_1} = \frac{v V P}{0.76}$$

oder

$$x = \frac{v V P}{0.76 \left(1 + \frac{\alpha h}{V_1}\right)}$$

und ebenso nach derselben Schlussfolge für das Volumen des unabsorbirt zurückbleibenden zweiten Gases:

$$y = \frac{v_1 V P}{0.76 \left(1 + \frac{\beta h}{V_1}\right)}.$$

Daraus folgt, wenn $v V P = A$, $v_1 V P = A_1$,

$$\left(1 + \frac{\alpha h}{V_1}\right) = B$$

und

$$\left(1 + \frac{\beta h}{V_1}\right) = B_1$$

gesetzt wird:

$$\frac{A B_1}{(A B_1 + A_1 B)} = \frac{x}{x + y} = u.$$

$$6) \quad \frac{A_1 B}{(A B_1 + A_1 B)} = \frac{y}{x + y} = u_1.$$

Es ist einleuchtend, dass auch umgekehrt die unbekannte Zusammensetzung eines Gasgemisches aus den

Volumenveränderungen gefunden werden kann, welche dasselbe in Folge der Absorption in einem Flüssigkeitsvolumen erleidet. Dies führt zu einer Methode, durch die es möglich wird, die Analyse von Gasgemengen ohne alle chemischen Versuche auf rein physikalischem Wege auszuführen. Solche absorptiometrische Bestimmungen, wie ich sie nennen möchte, sind unter Umständen kaum weniger genau als die chemische Analyse, oft sogar einfacher als diese. Für gewisse Aufgaben aber sind sie von unersetzlichem Werthe, weil sie zur Entscheidung von Fragen dienen können, die auf anderem Wege nicht lösbar sind. Betrachten wir in dieser Beziehung zunächst nur wieder den Fall, wo zwei Gase gegeben sind, deren Verhältniss zu einander auf absorptiometrischem Wege gefunden werden soll.

Es sei: x das ursprüngliche Volumen des Gases 1, reducirt auf den Druck 1,

x' das nicht absorbirte Volumen, ebenfalls reducirt auf den Druck 1,

v' das nicht absorbirte Volumen des Gemenges beim Drucke P' .

Der Druck des nicht absorbirten Gases 1 ist dann $\frac{x'}{v'}$.

Reducirt man die absorbirte Menge des Gases 1 auf diesen Druck, so ist sie αh ; auf den Druck 1 reducirt ist sie also:

$$\frac{x'}{v'} \alpha h,$$

und daher

$$x = x' + \frac{x'}{v'} \alpha h = x' \left(1 + \frac{\alpha h}{v'} \right),$$

oder

$$x' = \frac{x}{1 + \frac{\alpha h}{v'}}.$$

Daher ist der Druck des nicht absorbirten Gases 1:

$$\frac{x}{v' + \alpha h}.$$

Bezeichnen y, y' dasselbe in Bezug auf das Gas 2, was x, x' in Bezug auf das Gas 1 bedeuten, so ist der Druck des nicht absorbirten Gases 2:

$$\frac{y}{v' + \beta h}.$$

Da nun P' der Druck des Gemenges, so folgt:

$$P' = \frac{x}{v' + \alpha h} + \frac{y}{v' + \beta h}.$$

Ist P der Druck, unter dem das Gemenge ursprünglich das Volumen V einnimmt, so ist

$$P = \frac{x}{V} + \frac{y}{V}.$$

(wie sich auch ergibt, wenn man $h = 0$ setzt).

Man hat also:

$$1 = \frac{x}{(v' + \alpha h) P'} + \frac{y}{(v' + \beta h) P'}$$

$$1 = \frac{x}{VP} + \frac{y}{VP}.$$

Setzt man:

$$VP = W,$$

$$(V' + \alpha h) P' = A,$$

$$(V' + \beta h) P' = B,$$

so ergibt sich daraus:

$$\frac{x}{y} = \frac{W - B}{A - W} \cdot \frac{A}{B},$$

oder das Volumen des ersten und zweiten Gases in der Volumeneinheit des Gemenges:

$$\begin{aligned} 7) \quad \frac{x}{x + y} &= \frac{W - B}{A - B} \cdot \frac{A}{W}, \\ \frac{y}{x + y} &= \frac{A - W}{A - B} \cdot \frac{B}{W}. \end{aligned}$$

Für den Fall, dass n Gase zu bestimmen sind, bedarf man n Gleichungen, die leicht dadurch erhalten werden, dass man für verschiedene Pressungen $P P_1 P_2 \dots P_{n-1}$ bei den Temperaturen $t t_1 t_2 \dots t_{n-1}$, oder für die Flüssigkeitsmengen $h h_1 h_2 \dots h_{n-1}$ die zugehörigen Gasvolumina $V V_1 V_2 \dots V_{n-1}$ beobachtet. So erhält man z. B. für ein Gemenge von drei Gasen, deren Volumen $x + y + z$ ist, die Gleichungen:

$$1 = \frac{x}{VP} + \frac{y}{VP} + \frac{z}{VP},$$

$$1 = \frac{x}{(V_1 + \alpha_1 h_1) P_1} + \frac{y}{(V_1 + \beta_1 h_1) P_1} + \frac{z}{(V_1 + \gamma_1 h_1) P_1},$$

$$1 = \frac{x}{(V_2 + \alpha_2 h_2) P_2} + \frac{y}{(V_2 + \beta_2 h_2) P_2} + \frac{z}{(V_2 + \gamma_2 h_2) P_2}.$$

Bezeichnet man die Coëfficienten $\frac{1}{VP} \dots$ in der Horizontalreihe der ersten Gleichung mit $a b c$, die Coëfficienten $\frac{1}{(V_1 + \alpha_1 h_1) P_1} \dots$ in der zweiten Gleichung mit $a_1 b_1 c_1$ und die Coëfficienten $\frac{1}{(V_2 + \alpha_2 h_2) P_2} \dots$ in der dritten mit $a_2 b_2 c_2$, so ist:

$$\frac{x}{y} = \frac{A}{B} = \frac{b_1 c_2 - b_2 c_1 + b_2 c - b c_2 + b c_1 - b_1 c}{a c_2 - a c_1 + a_1 c - a_1 c_2 + a_2 c_1 - a_2 c},$$

$$\frac{z}{y} = \frac{C}{B} = \frac{a b_1 - a b_2 + a_1 b_2 - a_1 b + a_2 b - a_2 b_1}{a c_2 - a c_1 + a_1 c - a_1 c_2 + a_2 c_1 - a_2 c},$$

oder:

$$\frac{y}{x + y + z} = \frac{B}{A + B + C}.$$

$$\frac{x}{x + y + z} = \frac{A}{A + B + C}.$$

$$8) \quad \frac{z}{x + y + z} = \frac{C}{A + B + C}.$$

Die Bestimmung der Absorptionscoëfficienten ist für gasometrische Untersuchungen von grosser Wichtigkeit. Man bedient sich dazu des Absorptiometers, eines Instrumentes von folgender Einrichtung:

Das in Millimeter getheilte und kalibrierte Absorptionsrohr *e*, Fig. 46, ist an seinem unteren offenen Ende mit einer aufgekitteten, in die Schraubenmutter des kleinen Stuhles *aa*, Fig. 47, passenden Schraubenhülse *b* versehen, mittelst deren man das offene Ende des Absorptionsrohres gegen die mit vulcanisirtem Kautschuk überzogene Bodenplatte des kleinen Stuhles *aa* schrauben und dadurch verschliessen kann. An dem Stuhle befinden sich die beiden Stahlfedern *cc*, welche in zwei perpendicular laufende Falze der inneren Höhlung des Fusses *f*, Fig. 46, passen, so dass sich der Stuhl, wenn er in die Höhlung des Fusses gesenkt ist, mit gleitender Reibung auf und nieder bewegen, aber nicht um seine Axe drehen lässt. Es wird dadurch bewirkt, dass die gegen die Kautschukplatte des in den Falzen festgehaltenen Stuhles geschraubte Absorptionsröhre durch eine geringe Axendrehung nach links oder rechts geöffnet oder wieder verschlossen werden kann. Der äussere Glaszylinder *gg*, Fig. 46, welcher die Absorptionsröhre umschliesst, ist in den Fuss *f* und die obere eiserne Fassung *h* nicht eingekittet, sondern nur mit seinen abgeschliffenen Rändern, auf denen vulcanisirte Kautschukringe liegen, gegen beide mittelst der Schrauben *ii* gepresst. Die Röhren *rr* dienen zum Eingiessen und Ablassen von Quecksilber, um das Niveau des letzteren im inneren Glaszylinder beliebig erhöhen oder erniedrigen und dadurch jeden gewünschten Druck in dem Absorptionsrohre erzeugen zu können. *k* ist ein kleines Thermometer, das zur Temperaturbestimmung des die Absorptionsröhre umgebenden Wassers dient. Der

Fig. 46.

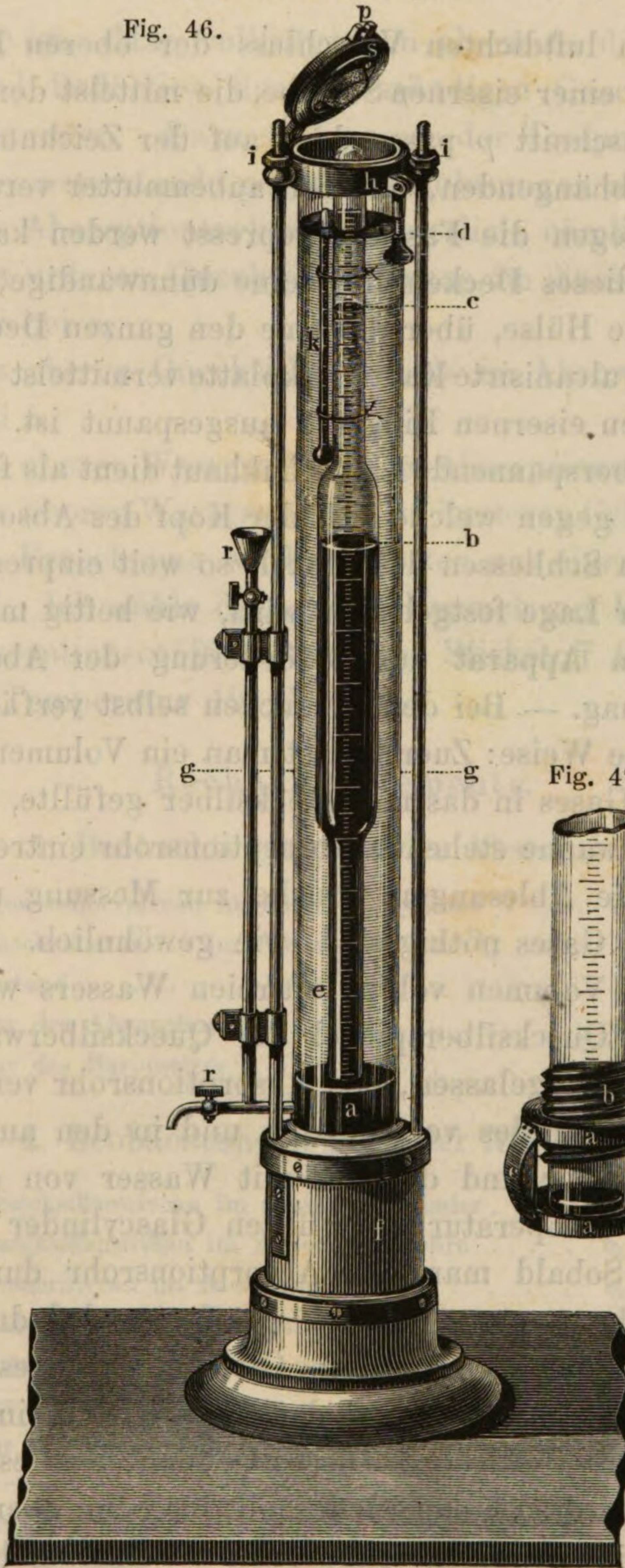


Fig. 47.

Deckel zum luftdichten Verschluss der oberen Fassung besteht aus einer eisernen Scheibe, die mittelst der in den kleinen Einschnitt p passenden, auf der Zeichnung pendelnd herabhängenden, mit Schraubenmutter versehenen Schraube gegen die Fassung gepresst werden kann. In der Mitte dieses Deckels liegt eine dünnwandige, fingerhohe eiserne Hülse, über die eine den ganzen Deckel bekleidende, vulcanisirte Kautschukplatte mittelst des aufgeschraubten eisernen Ringes s ausgespannt ist. Diese, die Hülse überspannende Kautschukhaut dient als federnde Widerlage, gegen welche sich der Kopf des Absorptionsrohres beim Schliessen des Deckels so weit einpresst, dass es in seiner Lage festgehalten wird, wie heftig man auch den ganzen Apparat zur Beförderung der Absorption schütteln mag. — Bei den Versuchen selbst verfährt man auf folgende Weise: Zuerst lässt man ein Volumen des zu prüfenden Gases in das mit Quecksilber gefüllte, in einer Quecksilberwanne stehende Absorptionsrohr eintreten und vollführt die Ablesungen, welche zur Messung und Reduction des Gases nöthig sind, wie gewöhnlich. Ein angemessenes Volumen völlig luftfreien Wassers wird nun unter dem Quecksilberspiegel der Quecksilberwanne zu dem Gase hinzugelassen, das Absorptionsrohr mittelst des kleinen Stuhles verschlossen und in den am Boden mit Quecksilber und darüber mit Wasser von constant erhaltener Temperatur angefüllten Glascylinder gg eingesenkt. Sobald man das Absorptionsrohr durch eine kleine Drehung um seine Axe geöffnet und dadurch den inneren und äusseren Druck ins Gleichgewicht gesetzt hat, verschliesst man dasselbe wieder und schüttelt eine Minute lang auf das Heftigste. Dieses Oeffnen, Schliessen und Schütteln wird so lange wiederholt, bis beim abermaligen Oeffnen keine Volumenveränderung am Gase mehr wahr-

nehmbar ist. Man vollführt nun abermals die zur Messung und Reduction des rückständigen Gases nöthigen Beobachtungen. Dazu sind ausser der Temperatur t und dem Barometerstande p nur vier Ablesungen an der Theilung des Absorptionsrohres erforderlich, nämlich

- 1) des unteren Quecksilberniveaus im äusseren Cylinder bei a ,
- 2) des oberen Quecksilberniveaus im Absorptionsrohre bei b ,
- 3) des oberen Wasserniveaus im Absorptionsrohre bei c ,
- 4) des oberen Wasserniveaus im äusseren Cylinder bei d .

Die Berechnung wird am besten aus einem Beispiele erhellen. Ich wähle dazu einen Versuch zur Bestimmung des Absorptionscoëfficienten von Stickstoff für Wasser bei der Temperatur 19° C.

Rechnungselemente.

1. Beobachtungen vor der Absorption.

Unteres Quecksilberniveau im äusseren Cylinder . . .	$a = 423.6$ mm
Oberes Quecksilberniveau im Absorptionsrohre *) . .	$b = 124.1$ „
Barometerstand	$p = 746.9$ „
Temperatur des Absorptiometers	$t = 19.2^{\circ}$ C.
Temperatur des Barometers	$\tau = 19.0$ „

2. Beobachtungen nach der Absorption.

Unteres Quecksilberniveau im äusseren Cylinder . . .	$a_1 = 352.2$ mm
Oberes Quecksilberniveau im Absorptionsrohre . . .	$b_1 = 350.7$ „
Oberes Wasserniveau im Absorptionsrohre	$c_1 = 65.5$ „
Oberes Wasserniveau im äusseren Cylinder	$d_1 = 8.0$ „
Barometerstand	$p_1 = 746.3$ „
Temperatur des Absorptiometers	$t_1 = 19.0^{\circ}$ C.
Temperatur des Barometers	$\tau_1 = 18.9$ „

*) Das Absorptiometer enthielt bei diesem Versuche nur Quecksilber und kein Wasser.

Reduction dieser Elemente.

1. Vor der Absorption.

Quecksilberniveau bei	$a = 423.6 \text{ mm}$
Quecksilberniveau bei	$b = 124.1 \text{ „}$
Quecksilbersäule im Absorptionsrohre	$(a - b) = 299.5 \text{ „}$
Dieselbe auf 0° reducirt	$\pi = 298.5 \text{ „}$
Auf 0° reducirter Barometerstand ($p = 0.7469$) ist	$\pi_1 = 744.4 \text{ „}$
Auf 0° reducirter Quecksilberdruck des Gases	$(\pi_1 - \pi) = 445.9 \text{ „}$
Abzuziehende Dampftension bei 19.2° C.	$= 16.6 \text{ „}$
Druck des trockenen Stickstoffs	$P = 429.3 \text{ „}$
Bei 19.2° C. am Theilstrich $b = 124.1$ abgelesenes, nach der Kalibrirung corrigirtes Gasvolumen	$= 34.90 \text{ „}$
Dasselbe auf 0° reducirt	$V = 32.608 \text{ „}$

2. Nach der Absorption.

Barometerstand $p_1 = 746.3 \text{ mm}$ auf 0° C. reducirt	$\delta = 743.8 \text{ mm}$
Quecksilberniveau bei	$a_1 = 352.2 \text{ „}$
Dasselbe bei	$b_1 = 350.7 \text{ „}$
Quecksilbersäule im Absorptionsrohre bei 19.0° C.	$(a_1 - b_1) = 1.5 \text{ „}$
Dieselbe bei 0° C.	$\delta_1 = 1.5 \text{ „}$
Unteres Wasserniveau im Absorptionsrohre bei	$b_1 = 350.7 \text{ „}$
Oberes Wasserniveau im Absorptionsrohre bei	$c_1 = 65.5 \text{ „}$
Wassersäule im Absorptionsrohre	$(b_1 - c_1) = w = 285.2 \text{ „}$
Unteres Wasserniveau im äusseren Cylinder	$a_1 = 352.2 \text{ „}$
Oberes Wasserniveau im äusseren Cylinder	$d_1 = 8.0 \text{ „}$
Wassersäule im äusseren Cylinder	$(a_1 - d_1) = w_1 = 344.2 \text{ „}$
Dem Barometer entgegendrückende Wassersäule	$(w_1 - w) = 59.0 \text{ „}$
Dieselbe auf Quecksilberdruck reducirt	$q = 4.4 \text{ „}$
Auf 0° C. reducirter Druck	$(\delta - \delta_1 - q) = 746.8 \text{ „}$
Abzuziehende Dampftension für 19.0° C.	$= 16.3 \text{ „}$
Druck des unabsorbirt gebliebenen Stickstoffs	$P_1 = 730.5 \text{ „}$
Bei 19.0° C. am Theilstrich $c_1 = 65.5$ abgelesenes, nach der Kalibrirung corrigirtes rückständiges Gasvolumen	$= 17.67 \text{ „}$
Dasselbe auf 0° reducirt	$V_1 = 16.52 \text{ „}$

Dem Theilstriche $b_1 = 350.7$ nach der Kalibrirung entsprechende Volumen = 200.04 mm

Dem Theilstriche $c_1 = 65.5$ nach der Kalibrirung entsprechende Volumen = 17.67 „

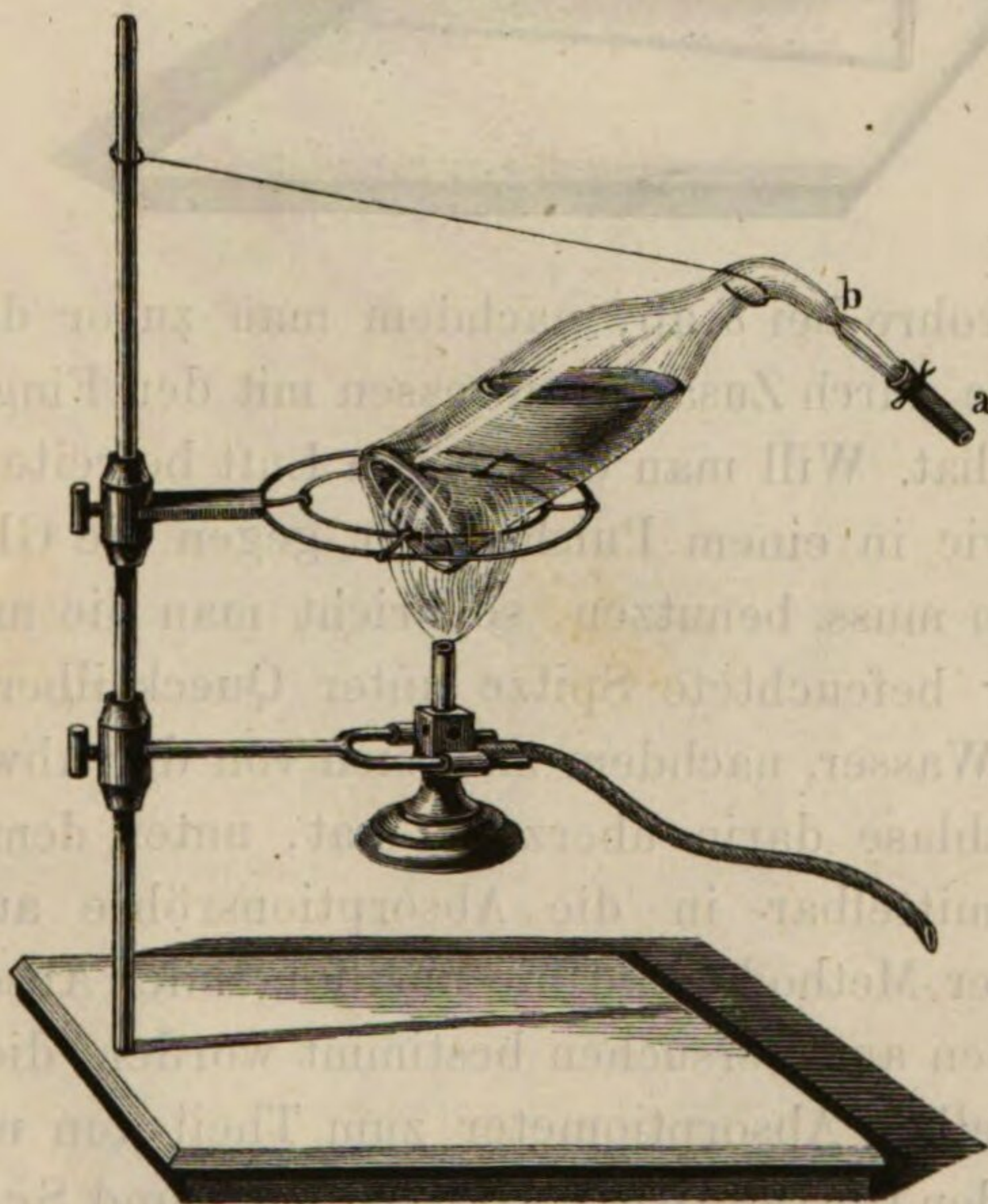
Absorbirendes Wasservolumen $h_1 = 182.37$ „

Aus diesen reducirten Elementen ergibt sich nach Formel 1) der Werth des Absorptionscoëfficienten:

$$a = \frac{1}{h_1} \left(\frac{VP}{P_1} - V_1 \right) = 0.01448.$$

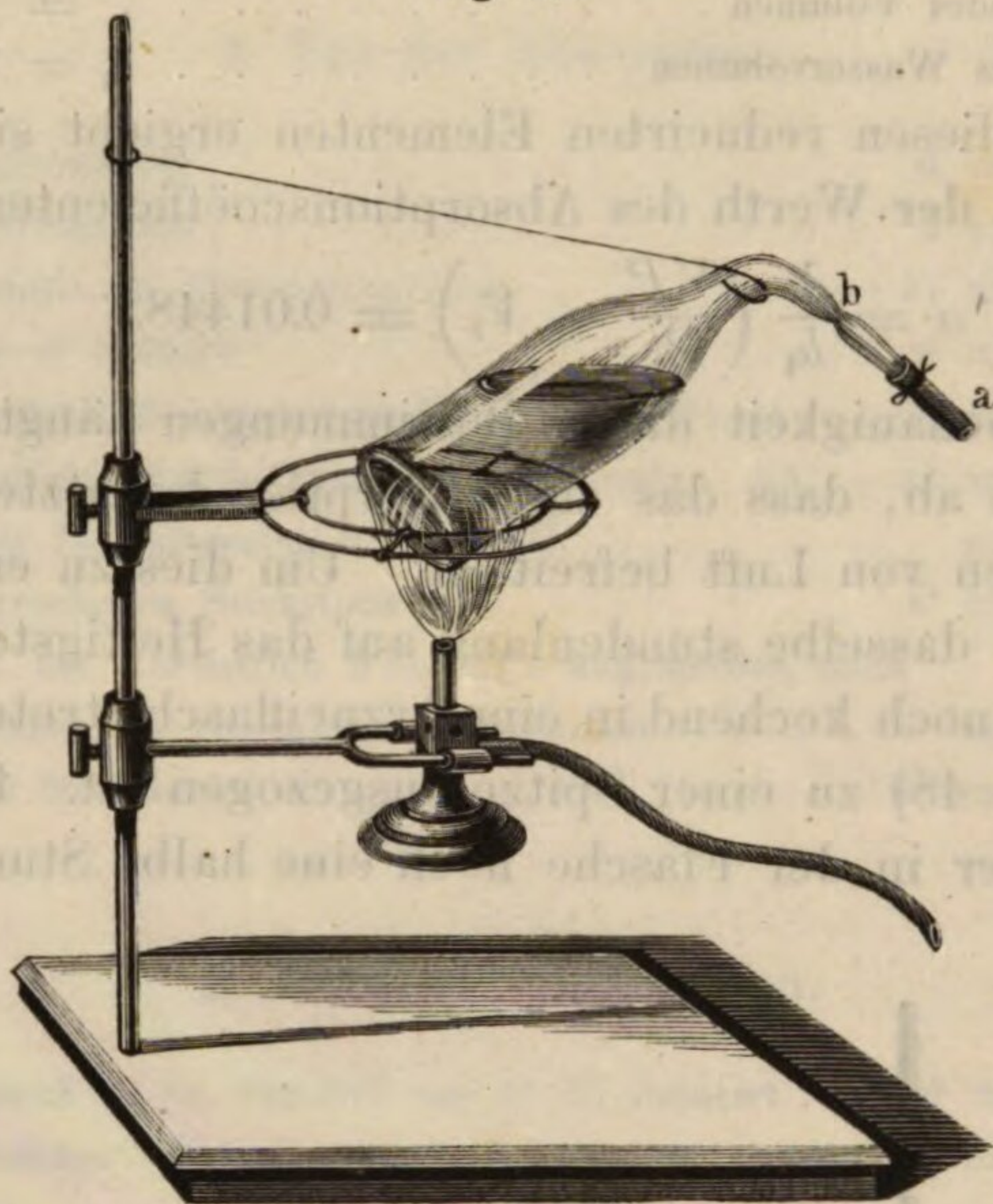
Die Genauigkeit dieser Bestimmungen hängt wesentlich davon ab, dass das zur Absorption benutzte Wasser vollkommen von Luft befreit ist. Um dies zu erreichen, lässt man dasselbe stundenlang auf das Heftigste kochen und dann noch kochend in eine Arzneiflasche treten, deren Hals (Fig. 48) zu einer Spitze ausgezogen ist. Hat man das Wasser in der Flasche noch eine halbe Stunde lang

Fig. 48.



im ruhigen Sieden erhalten, so schmilzt man die Spitze, auf der ein vulcanisirtes Kautschukröhrchen *a* steckt, mit

Fig. 49.



dem Löthrohre bei *b* ab, nachdem man zuvor die Kautschukröhre durch Zusammenpressen mit den Fingern verschlossen hat. Will man das so von Luft befreite Wasser, welches wie in einem Pulshammer gegen die Glaswände anschlagen muss, benutzen, so bricht man die mit Sublimatwasser befeuchtete Spitze unter Quecksilber ab und lässt das Wasser, nachdem man sich von der Abwesenheit jeder Luftblase darin überzeugt hat, unter dem Quecksilber unmittelbar in die Absorptionsröhre aufsteigen. Nach dieser Methode sind die nachfolgenden Absorptionscoëfficienten aus Versuchen bestimmt worden, die mit ein und demselben Absorptiometer zum Theil von mir, zum Theil von den Herren Drn. Carius, Pauli und Schönfeld

in meinem Laboratorium angestellt sind. Der zu den Absorptionen benutzte Alkohol hatte ein spezifisches Gewicht von 0.792 bei 20° C. Zu den Tensionscorrectionen für Alkohol diente die von Dr. Carius aus Munke's Versuchen berechnete, im Anhange gegebene Tabelle III.

1. Stickstoff in Wasser.

Das Gas war aus trockener, von Ammoniak und Kohlensäure befreiter, über glühende Kupferspähe geleiteter Luft bereitet.

Nr. des Ver- suches.	°C.	Coëfficient gefunden.	Coëfficient nach Formel 9) berechnet.	Differenz.
1	4.0	0.01843	0.01837	— 0.00006
2	6.2	0.01751	0.01737	+ 0.00014
3	12.6	0.01520	0.01533	+ 0.00013
4	17.7	0.01436	0.01430	— 0.00006
5	23.7	0.01392	0.01384	— 0.00008

Aus dem Mittel der Versuche 1, 2, 3; 2, 3, 4 und 3, 4, 5 ergibt sich die Interpolationsformel:

$$9) \quad c = 0.020346 - 0.00053887 t + 0.000011156 t^2.$$

2. Stickstoff in Alkohol.

Nr. des Ver- suches.	°C.	Coëfficient gefunden.	Coëfficient nach Formel 10) berechnet.	Differenz.
1	1.9	0.12561	0.12567	+ 0.00006
2	6.3	0.12384	0.12393	+ 0.00009
3	11.2	0.12241	0.12241	0.00000
4	14.6	0.12148	0.12152	+ 0.00004
5	19.0	0.12053	0.12056	+ 0.00003
6	23.8	0.11973	0.11979	+ 0.00006

Aus dem Mittel von 1, 2; 3, 4 und 5, 6 ergibt sich die Interpolationsformel:

$$10) \quad c = 0.126338 - 0.000418 t + 0.0000060 t^2.$$

3. Wasserstoffgas in Wasser.

Das Gas war aus verdünnter Schwefelsäure und reinem Zink bereitet.

Nr. des Versuches.	°C.	Coëfficient.	Abweichung vom Mittel.
1	4.0	0.0185	— 0.0008
2	7.0	0.0205	+ 0.0012
3	9.6	0.0196	+ 0.0003
4	12.8	0.0186	— 0.0007
5	15.5	0.0197	+ 0.0003
6	18.8	0.0188	— 0.0005
7	23.6	0.0194	+ 0.0001

Aus diesen Versuchen ergibt sich, dass der im Mittel 0.0193 betragende Absorptionscoëfficient des Wasserstoffs innerhalb der Temperaturen von 0° bis 20° constant bleibt.

4. Wasserstoff in Alkohol.

Nr. des Ver- suches.	°C.	Coëfficient gefunden.	Coëfficient nach Formel 11) berechnet.	Differenz.
1	1.0	0.06916	0.06910	— 0.00006
2	5.0	0.06847	0.06853	+ 0.00006
3	11.4	0.06765	0.06769	+ 0.00004
4	14.4	0.06726	0.06732	+ 0.00006
5	19.9	0.06668	0.06669	+ 0.00001
6	23.7	0.06633	0.06629	— 0.00004

Aus dem Mittel der Versuche 1, 2, 3; 2, 3, 4, 5 und 4, 5, 6 ergibt sich die Interpolationsformel:

$$11) \quad c = 0.06925 - 0.0001487 t + 0.000001 t^2.$$

5. Aethylgas in Wasser.

Zu den Versuchen konnte noch eine Probe desselben Aethylgases benutzt werden, welches Professor Frankland vor mehreren Jahren in meinem Laboratorium dargestellt und dessen Analyse derselbe in seiner Arbeit über die Aetherradiale mitgetheilt hat.

Nr. des Ver- suches.	°C.	Coëfficient gefunden.	Coëfficient nach Formel 12) berechnet.	Differenz.
1	5.8	0.02637	0.02626	+ 0.0011
2	8.7	0.02393	0.02428	— 0.0035
3	14.0	0.02199	0.02175	+ 0.0024
4	17.2	0.02103	0.02092	+ 0.0011
5	21.8	0.02026	0.02061	— 0.0035

Aus dem Mittel der Versuche von 1, 2, 3; 2, 3, 4 und 3, 4, 5 ergibt sich die Interpolationsformel:

$$12) \quad c = 0.031474 - 0.0010449 t + 0.000025066 t^2.$$

6. Kohlenoxydgas in Wasser.

Das Gas wurde durch Erhitzen von reiner ameisen-saurer Magnesia mit Schwefelsäure erhalten und erwies sich nach der Behandlung mit einer Aetzkalikugel als chemisch rein.

Nr. des Ver- suches.	°C.	Coëfficient gefunden.	Coëfficient nach Formel 13) berechnet.	Differenz.
1	5.8	0.028636	0.028691	+ 0.000055
2	8.6	0.027125	0.027069	— 0.000056
3	9.0	0.026855	0.026857	+ 0.000002
4	17.4	0.023854	0.023642	— 0.000212
5	18.4	0.023147	0.023414	+ 0.000267
6	22.0	0.022907	0.022863	— 0.000044

Nimmt man zur Berechnung der Constanten die Mittel aus 1, 2, 3, aus 2, 3, 4, 5 und 4, 5, 6, so erhält man die Interpolationsformel:

$$13) \quad c = 0.032874 - 0.00081632 t + 0.000016421 t^2.$$

7. Kohlenoxyd in Alkohol.

Nr. des Versuches.	°C.	Coëfficient gefunden.	Abweichung vom Mittel.
1	2.0	0.20356	— 0.00087
2	7.0	0.20526	+ 0.00083
3	12.9	0.20416	— 0.00027
4	16.2	0.20566	+ 0.00123
5	12.9	0.20341	— 0.00102
6	24.0	0.20452	+ 0.00009

Der Coëfficient des Kohlenoxyds bleibt daher zwischen 0° und 25° derselbe und beträgt im Mittel 0.20443.

8. Grubengas in Wasser.

Ich habe zu dieser Bestimmung ein in hermetisch verschlossenen Röhren aufbewahrtes Gas benutzt, welches aus einem Schlammvulcan bei Bulganak in der Krim unter ähnlichen Verhältnissen wie zu Baku am kaspischen Meere auftritt. Es wurde gerade dieses Gas gewählt, weil es nach meinen Untersuchungen das reinste zu sein scheint, welches in der Natur vorkommt. Es war zuvor durch eine Kalikugel von einer Spur darin vorkommender Kohlensäure befreit, und enthielt, wie die nachstehende Analyse zeigt, weder Stickstoff, noch Sauerstoff, noch Elayl:

	Vol.	° C.	Druck in Metern.	Vol. bei 0° u. 1 ^m Dr.
Anfängliches Gasvolumen . .	127.6	4.8	0.1596	20.01
Nach Zusatz von Luft . . .	499.0	4.8	0.5151	252.60
Nach Zusatz von Sauerstoff .	537.4	4.8	0.5500	290.47
Nach der Explosion	495.4	4.5	0.5115	249.29
Nach Absorption d. Kohlensäure	466.2	4.6	0.4994	228.97
Nach Zulassung v. Wasserstoff	609.3	4.3	0.6284	376.95
Nach der Explosion	478.8	4.3	0.5105	240.64

	Gefunden.	Berechnet.
Angewandtes Gas	20.01	20.45
Gebildete Kohlensäure .	20.32	20.45
Contraction	41.18	40.90
Verbrannter Sauerstoff .	41.18	40.90.

Das Gas gab folgende Werthe:

Nr. des Ver- suches.	°C.	Coëfficient gefunden.	Coëfficient nach Formel 14) berechnet.	Differenz.
1	6.2	0.04742	0.04757	— 0.00015
2	9.4	0.04451	0.04430	+ 0.00021
3	12.5	0.04126	0.04134	— 0.00008
4	18.7	0.03586	0.03600	— 0.00014
5	25.6	0.03121	0.03100	+ 0.00021

Das Mittel aus 1, 2, 3, aus 2, 3, 4 und 3, 4, 5 führt auf die Interpolationsformel:

14) $c = 0.05449 - 0.0011807 t + 0.000010278 t^2$.

9. Grubengas in Alkohol.

Das Gas wurde durch Schmelzen von essigsaurem Kali mit Kalihydrat bereitet und zeigte sich den folgenden Versuchen zufolge als rein.

	Vol.	Temp.	Druck in Metern.	Vol. bei 0° u. 1 ^m Dr.
Anfängliches Volumen . . .	75.2	5.0	0.2983	22.32
Nach Zusatz von Luft . . .	352.2	5.0	0.5736	201.04
Nach Zusatz von Sauerstoff .	399.3	5.3	0.6183	242.19
Nach der Explosion	352.2	5.2	0.5728	197.97
Nach Absorption d. Kohlensäure	325 0	5.6	0.5538	176.37

	Gefunden.	Berechnet.
Angewandtes Gas	22.32	22.11
Gebildete Kohlensäure .	22.25	22.11
Contraction	44.22	44.22
Verbrauchter Sauerstoff .	44.22	44.22.

Nr. des Ver- suches.	°C.	Coëfficient gefunden.	Coëfficient nach Formel 15) berechnet.	Differenz.
1	2.0	0.51721	0.51691	— 0.00030
2	6.4	0.50382	0.50483	+ 0.00101
3	11.0	0.49264	0.49278	+ 0.00014
4	15.0	0.48255	0.48280	+ 0.00025
5	19.0	0.47290	0.47327	+ 0.00037
6	23.5	0.46290	0.46309	+ 0.00019

Aus dem Mittel der Versuche 1, 2, 3; 2, 3, 4, 5 und 4, 5, 6 erhält man die Interpolationsformel:

$$15) \quad c = 0.522586 - 0.0028655 t + 0.0000142 t^2.$$

10. Methylgas in Wasser.

Zu dem Versuche wurde eine mir noch zu Gebote stehende, eingeschmolzene Gasprobe benutzt, welche Professor Frankland aus Jodmethyl vor mehreren Jahren in Marburg dargestellt und analysirt hat.

Nr. des Ver- suches.	°C.	Coëfficient gefunden.	Coëfficient nach Formel 16) berechnet.	Differenz.
1	4.6	0.072884	0.073084	— 0.000200
2	7.8	0.064732	0.064839	— 0.000107
3	12.1	0.055788	0.055703	+ 0.000085
4	15.2	0.050722	0.050500	+ 0.000222
5	19.8	0.045715	0.044915	+ 0.000800
6	24.2	0.040817	0.041960	— 0.001143

Nimmt man zu den Gleichungen für die Interpolationsformel die arithmetischen Mittel aus 1, 2, 3, 4, aus 3, 4, 5 und aus 4, 5, 6, so erhält man:

$$16) \quad c = 0.0871 - 0.0033242 t + 0.0000603 t^2.$$

11. Oelbildendes Gas in Wasser.

Das Gas war unter den bekannten Vorsichtsmaassregeln aus Alkohol und Schwefelsäure dargestellt. Um es von Alkohol und Aetherdampf und von Spuren anderer, mit dem Elayl polymerer Kohlenwasserstoffe zu befreien, wurde dasselbe vermitteltst einer Coakkugel mit concentrirter, nicht rauchender Schwefelsäure, bis etwa die Hälfte davon absorbirt war, behandelt und endlich noch längere Zeit mit einer Kalikugel in Berührung gelassen. Es erwies sich der nachstehenden Analyse zufolge als rein.

	Vol.	° C.	Druck in Metern.	Vol. bei 0° u. 1 ^m Dr.
Anfängliches Gasvolumen . .	36.7	12.0	0.2443	8.64
Nach Zusatz von Luft . . .	311.2	12.0	0.5183	154.52
Nach Zusatz von Sauerstoff .	339.8	12.5	0.5462	177.48
Nach der Explosion	318.0	12.0	0.5261	160.26
Nach Absorption d. Kohlensäure	290.1	11.2	0.5130	142.96

	Gefunden.	Berechnet.
Angewandtes Gas	8.64	8.61
Gebildete Kohlensäure .	17.31	17.22
Contraction	17.22	17.22
Verbrannter Sauerstoff .	25.91	25.83

Die absorptiometrischen Versuche gaben:

Nr. des Ver- suches.	°C.	Coëfficient gefunden.	Coëfficient nach Formel 17) berechnet.	Differenz.
1	4.6	0.21870	0.21824	+ 0.00046
2	9.6	0.18398	0.18592	— 0.00194
3	14.0	0.16673	0.16525	+ 0.00148
4	18.0	0.15324	0.15278	+ 0.00046
5	20.6	0.14597	0.14791	— 0.00194

Nimmt man das Mittel aus 1, 2, 3 und 2, 3, 4 und 3, 4, 5, so ergibt sich die Interpolationsformel:

$$17) \quad c = 0.25629 - 0.00913631 t + 0.000188108 t^2.$$

12. Oelbildendes Gas in Alkohol.

Nr. des Ver- suches.	°C.	Coëfficient gefunden.	Coëfficient nach Formel 18) berechnet.	Differenz.
1	0.8	3.5344	3.5484	+ 0.0140
2	5.4	3.3109	3.3033	— 0.0076
3	10.9	3.0431	3.0469	+ 0.0038
4	15.4	2.8645	2.8679	+ 0.0034
5	19.3	2.7302	2.7348	+ 0.0046
6	23.8	2.6048	2.6072	+ 0.0024

Aus dem Mittel von 1, 2; 3, 4 und 5, 6 erhält man die Interpolationsformel:

$$18) \quad c = 3.59498 - 0.057716 t + 0.0006812 t^2.$$

13. Kohlensäure in Wasser.

Zur Darstellung dieses Gases wurde Kreide mit rei-

ner concentrirter Schwefelsäure übergossen und dem Gemische einige Tropfen Wasser hinzugefügt. Das sich auf solche Weise vollkommen stetig entwickelnde Gas wurde noch durch ausgekochtes Wasser gewaschen. Der Versuch gab:

Nr. des Ver- suches.	°C.	Coëfficient gefunden.	Coëfficient nach Formel 19) berechnet.	Differenz.
1	4.4	1.4698	1.4584	+ 0.0114
2	8.4	1.2426	1.2607	— 0.0181
3	13.8	1.0654	1.0385	+ 0.0269
4	16.6	0.9692	0.9610	+ 0.0082
5	19.1	0.8963	0.9134	— 0.0171
6	22.4	0.8642	0.8825	— 0.0183

Bildet man drei Gleichungen aus dem Mittel von 1, 2, 3, 4 von 2, 3, 4, und 3, 4, 5, 6, so erhält man die Interpolationsformel:

$$19) \quad c = 1,7967 - 0,07761t + 0,0016424t^2.$$

14. Kohlensäure in Alkohol.

Nr. des Ver- suches.	°C.	Coëfficient gefunden.	Coëfficient nach Formel 20) berechnet.	Differenz.
1	3.2	4.0442	4.0416	— 0.0026
2	6.8	3.7374	3.7480	+ 0.0106
3	10.4	3.4875	3.4866	— 0.0009
4	14.2	3.2357	3.2457	+ 0.0100
5	18.0	3.0391	3.0402	+ 0.0011
6	22.6	2.8277	2.8396	+ 0.0119

Das Mittel aus 1, 2; 3, 4 und 5, 6 giebt die Interpolationsformel:

$$20) \quad c = 4,32955 - 0.09395 t + 0.00124 t^2.$$

15. Sauerstoff in Wasser.

Sauerstoffgas, auf gewöhnliche Weise aus reinem chlorsauren Kali dargestellt, gab:

Nr. des Ver- suches.	° C.	Coëfficient.
1	6.0	0.04609
2	8.3	0.04186
3	11.6	0.03921
4	18.1	0.03715
5	22.8	0.03415

Da sich das Wasser bei dem Schütteln im Absorptiometer unter Absatz einer schwarzen pulverförmigen Substanz trübte, so war zu befürchten, dass eine Oxydation der im Quecksilber gelösten Metalle auf Kosten des im Wasser enthaltenen Sauerstoffes stattgefunden hatte, wodurch der Coëfficient hätte zu gross gefunden werden müssen. Das zu dem Versuche dienende Quecksilber wurde daher so weit von fremden Metallen gereinigt, als dies überhaupt durch wiederholtes längeres Behandeln mit concentrirter Salpetersäure möglich ist. Bei Wiederholung des Versuches mit dem so gereinigten Quecksilber ergab sich:

Nr. des Ver- suches.	°C.	Coëfficient.	Differenz.
1	19.4	0.03109	+ 0.00090
2	19.6	0.03199	+ 0.00003
3	19.4	0.03202	+ 0.00052
4	19.5	0.03254	— 0.00009
5	19.5	0.03245	+ 0.00047
6	19.5	0.03292	+ 0.00221
7	19.0	0.03513	— 0.00057
8	19.0	0.03456	

Der Versuch gab daher in der That einen etwas kleineren Absorptionscoëfficienten. Allein trotz der sorgfältigen Reinigung des Quecksilbers zeigte sich doch immer noch jene schwarze Trübung, die sich bei fortgesetztem Schütteln merklich vermehrte. Dieser Umstand und das stetige Wachsen des wiederholt bei ein und derselben Temperatur bestimmten Absorptionscoëfficienten zeigt zur Genüge, dass auf diesem Wege keine zuverlässigen Resultate zu gewinnen sind. Ich habe es daher vorgezogen, den Werth des Absorptionscoëfficienten auf indirecte Weise zu bestimmen.

Leitet man atmosphärische Luft, welche völlig von Kohlensäure und Ammoniak befreit ist, durch ausgekochtes Wasser, so ergibt sich die Menge des aufgenommenen Sauerstoffs V_0 und des aufgenommenen Stickstoffs V aus den früher entwickelten Gleichungen 3):

$$V_0 = \frac{\alpha P O V_1}{0,76 (N + O)}; \quad V = \frac{\beta P N V_1}{0,76 (N + O)}.$$

Dividirt man die erste dieser Gleichungen durch die zweite, so erhält man:

$$\frac{N V_0}{O V} \beta = \alpha.$$

Da die Zusammensetzung der atmosphärischen Luft, d. h. das Verhältniss $\frac{N}{O}$, sowie der Absorptionscoëfficient des Stickstoffs β bekannt ist, so braucht man nur noch das Verhältniss $\frac{V}{V_0}$ oder die Zusammensetzung der vom Wasser bei einer bestimmten Temperatur aufgenommenen Luft zu kennen, um daraus α oder den Absorptionscoëfficienten des Sauerstoffs zu berechnen. Die Elemente zu dieser Rechnung ergeben sich aus den nachstehenden Versuchen. Die von Kohlensäure und Ammoniak völlig befreite Luft strich einen halben Tag lang in einem starken anhaltenden Strome durch das zuvor ausgekochte Wasser, dessen Temperatur in einem Wasserbade constant erhalten wurde. Auf die Reinigung des Wassers muss die grösste Sorgfalt verwendet werden. Es darf namentlich nicht aus einer Blase destillirt sein, in der jemals zuvor organische Substanzen behandelt worden sind. Die Spuren flüchtiger organischer Körper, welche es in einem solchen Falle aufnimmt, reichen hin, einen Theil des absorbirten Sauerstoffs in Kohlensäure zu verwandeln. Man muss sich daher stets durch einen besonderen Versuch überzeugen, ob die ausgekochte Luft kohlenstofffrei ist. Die Gewinnung der in dem Wasser enthaltenen Gase geschah nach einer Methode, deren ich mich bei meinen Untersuchungen über die isländischen Quellengase bedient habe, und die Prof. Baumert in seiner trefflichen Arbeit über die Respiration des *Cobitis fossilis* näher beschrieben hat.

Luft aus Wasser bei 1° C. gesättigt.

	Vol.	Druck in Metern.	°C.	Vol. bei 0° und 1 ^m Dr.
Angewandtes Gas .	216.85	0.2644	9.7	55.374
+ Wasserstoff . .	376.16	0.4170	9.8	151.414
Nach der Explosion	289.83	0.3340	9.9	93.420
Sauerstoff 34.91				
Stickstoff 65.09				
100.00				

Luft aus Wasser bei 13° C. gesättigt.

	Vol.	Druck in Metern.	°C.	Vol. bei 0° und 1 ^m Dr.
Angewandtes Gas .	165.99	0.2198	9.0	53.324
+ Wasserstoff . .	346.28	0.3914	9.5	130.994
Nach der Explosion	288.78	0.3371	9.2	94.180
Sauerstoff 34.73				
Stickstoff 65.27				
100.00				

Luft aus Wasser bei 23° C. gesättigt.

	Vol.	Druck in Metern.	°C.	Vol. bei 0° und 1 ^m Dr.
Angewandtes Gas .	206.67	0.2577	9.3	51.497
+ Wasserstoff . .	400.29	0.4437	9.2	171.828
Nach der Explosion	323.95	0.3746	8.7	117.608

Sauerstoff	35.08
------------	-------

Stickstoff	64.92
------------	-------

100.00

Man sieht, dass die Zusammensetzung der bei verschiedenen Temperaturen vom Wasser absorbirten Luft stets dieselbe bleibt. Sie beträgt im Mittel:

Sauerstoff	$34.91 = V_0$
------------	---------------

Stickstoff	$65.09 = V$
------------	-------------

100.00

Es folgt daraus, dass die Curve, welche die mit abnehmender Temperatur zunehmenden Absorptionscoëfficienten des Sauerstoffs ausdrückt, der entsprechenden Curve des Stickstoffs parallel läuft.

Nimmt man für die Zusammensetzung der atmosphärischen Luft an:

Sauerstoff	$0.2096 = O$
------------	--------------

Stickstoff	$0.7904 = N$
------------	--------------

1.0000

und substituirt man die Werthe von V_1 , VO und N in obige Gleichung, so erhält man, wenn β den Absorptionscoëfficienten des Stickstoffs bezeichnet, für den Absorptionscoëfficienten des Sauerstoffs:

$$21) \alpha = 2.0225 \beta.$$

16. Sauerstoff in Alkohol.

Da der von Alkohol absorbirte Sauerstoff kaum merklich oxydirend auf die im Quecksilber gewöhnlich enthaltenen Metalle einwirkt, so bestimmte Dr. Carius die Absorptionscoëfficienten auf gewöhnliche Weise im Absorptiometer.

Nr. des Ver- suches.	° C.	Coëfficient gefunden.	Abweichung vom Mittel.
1	1.0	0.28389	— 0.00008
2	4.5	0.28588	+ 0.00191
3	9.8	0.28439	+ 0.00042
4	14.2	0.28122	— 0.00275
5	18.8	0.28373	— 0.00024
6	23.1	0.28469	+ 0.00072

Der Absorptionscoëfficient des Sauerstoffs für Alkohol ist daher für alle Temperaturen zwischen 0° und 24° gleich.

17. Stickoxydul in Wasser.

Die Versuche wurden mit einem aus reinem salpetersauren Ammoniak bereiteten Gase angestellt:

Nr. des Ver- suches.	° C.	Coëfficient gefunden.	Coëfficient nach Formel 22) berechnet.	Differenz.
1	2.5	1.1942	1.1962	+ 0.0020
2	8.2	0.9700	0.9791	+ 0.0091
3	12.0	0.8432	0.8588	+ 0.0156
4	16.2	0.7477	0.7489	+ 0.0012
5	20.0	0.6744	0.6700	— 0.0044
6	24.0	0.6024	0.6082	+ 0.0058

Aus den Mitteln von 1, 2; 3, 4 und 5, 6 erhält man die Interpolationsformel:

$$22) c = 1.30521 - 0.045362 t + 0.0006843 t^2.$$

18. Stickoxydul in Alkohol.

Nr. des Ver- suches.	° C.	Coëfficient gefunden.	Coëfficient nach Formel 23) berechnet.	Differenz.
1	2.3	4.0262	4.0207	— 0.0055
2	7.0	3.7069	3.7192	+ 0.0123
3	11.6	3.4219	3.4501	+ 0.0282
4	18.2	3.1105	3.1092	— 0.0013
5	23.0	3.8861	3.8944	+ 0.0083

Das Mittel der Versuche 1, 2; 2, 3, 4 und 4, 5 giebt die Interpolationsformel:

$$23) c = 4.17805 - 0.069816t + 0.000609t^2.$$

19. Stickoxyd in Alkohol.

Um Stickoxyd rein zu erhalten, leitet man dasselbe in eine concentrirte Lösung von Eisenvitriol. Die auf diese Art erhaltene Lösung giebt bei dem Erhitzen, wenn sie frisch bereitet und concentrirt angewandt wird, ein reines Gas, das, wenn man nur die zuerst entweichenden Antheile auffängt, stets frei von Stickstoffoxydul und Stickstoff ist.

Nr. des Ver- suches.	° C.	Coëfficient gefunden.	Coëfficient nach Formel 24) berechnet.	Differenz.
1	2.0	0.30895	0.30928	+ 0.00033
2	6.0	0.29684	0.29690	+ 0.00006
3	11.8	0.28162	0.28174	+ 0.00012
4	16.0	0.27250	0.27281	+ 0.00031
5	20.0	0.26573	0.26592	+ 0.00019
6	24.2	0.26014	0.26038	— 0.00024

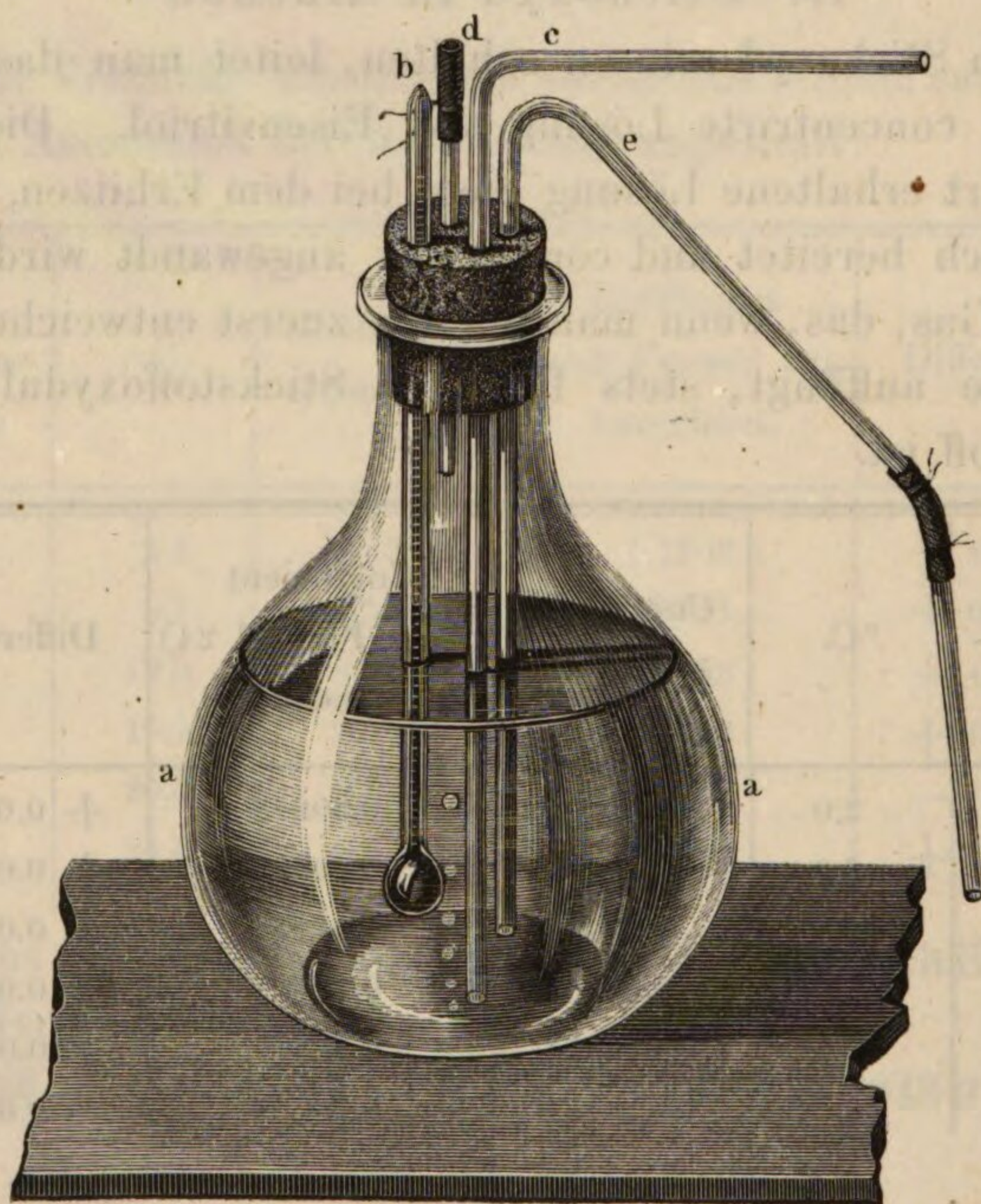
Aus den Versuchen 1, 2; 3, 4 und 5, 6 ergibt sich die Interpolationsformel:

$$24) c = 0.31606 - 0.003487 t + 0.000049 t^2.$$

20. Schwefelwasserstoff in Alkohol.

Zur Bestimmung der Absorptionscoëfficienten solcher Gase, welche das Quecksilber angreifen, oder von Wasser in unverhältnissmässig grosser Menge verschluckt werden, lässt sich das Absorptiometer nicht anwenden. Bei Schwefelwasserstoff, welcher bei Gegenwart von Alkohol durch Quecksilber zersetzt wird, muss daher eine andere Methode befolgt werden. Der einfachste Weg besteht darin, dass man den Alkohol bei constant erhaltenen Temperaturen unter einem gemessenen Drucke mit Schwefel-

Fig. 50.



wasserstoff sättigt und das absorbirte Gas auf chemischem Wege bestimmt. Die Sättigung geschieht am besten in dem Apparate Fig. 50, dessen sich Dr. Schönfeld und Dr. Carius bei der Bestimmung der im Nachfolgenden mitgetheilten Absorptionscoëfficienten bedient haben.

Die den zu sättigenden ausgekochten Alkohol enthaltende Digerirflasche *aa* ist mit einem vierfach durchbohrten luftdicht schliessenden Kork verschlossen. Die erste Durchbohrung umschliesst das in die Flüssigkeit hinabreichende Thermometer *b*, die zweite enthält das bis auf den Boden der Flasche hinabreichende Gaszuleitungsrohr *c*, in der dritten steckt ein kurzes Gasableitungsrohr *d*, auf welchem sich ein Kautschukröhrchen befindet, und durch die vierte Durchbohrung endlich ist ein in der Tiefe der Flüssigkeit mündendes Heberrohr *e* geführt. Wird durch das Zuleitungsrohr *c* mit Wasser gewaschenes, aus verdünnter Schwefelsäure und Schwefeleisen bereitetes Schwefelwasserstoffgas zwei Stunden lang durch die Flüssigkeit der Flasche geleitet, während dieselbe in einem Wasserbade von constanter Temperatur sich befindet, so darf man annehmen, dass der Sättigungspunkt erreicht ist. Man verschliesst dann, während das Gas noch in den Apparat strömt, die Kautschukröhre bei *d* mit einem Glasstäbchen. Die dadurch bewirkte geringe Druckvermehrung im Inneren der Flasche treibt die gesättigte Flüssigkeit durch das Heberrohr *e* aus. Man leitet dieselbe auf den Boden einer Messflasche und lässt sie eine Zeitlang aus dem Halse der Messflasche überfließen, um die bei dem Anfüllen mit der Luft in Berührung gewesenen Schichten durch die am Boden nachfließenden noch nicht mit Luft in Berührung gewesenen zu verdrängen. Die rasch mit ihrem Glasstöpsel

verschlossene Messflasche wird dann in eine Kupferchloridlösung entleert und der Schwefel des gefällten Schwefelkupfers auf die gewöhnliche Weise als schwefelsaurer Baryt bestimmt. Nennt man die Menge des erhaltenen schwefelsauren Baryts A , das Volumen der Messflasche in Cubikcentimetern h , den bei der Sättigung der Flüssigkeit beobachteten Barometerstand P und das specifische Gewicht des Schwefelwasserstoffs s , so ergibt sich der für die Temperatur der Sättigung gesuchte Absorptionscoefficient a aus der leicht verständlichen Formel:

$$a = A \frac{(\text{HS}) \cdot 773 \cdot 0.76}{(\text{Ba S}) \cdot s \cdot P \cdot h}$$

Aus den auf diese Weise berechneten Versuchen ergab sich für Schwefelwasserstoff in Alkohol:

Nr. des Ver- suches.	° C.	Coëfficient gefunden.	Coëfficient nach Formel 25) berechnet.	Differenz.
1	1.0	17.367	17.242	— 0.125
2	4.0	15.198	15.373	+ 0.175
3	7.5	13.246	13.343	+ 0.097
4	10.6	11.446	11.680	+ 0.234
5	17.6	8.225	8.393	+ 0.168
6	22.0	6.624	6.659	+ 0.035

Aus den Mitteln von 1, 2, 3; 2, 3, 4, 5 und 4, 5, 6 erhält man die Interpolationsformel:

$$25) \ c = 17.891 - 0.65598t + 0.00661t^2.$$

21. Schwefelwasserstoff in Wasser.

Die mit Wasser in derselben Weise wie mit Alkohol ausgeführten Versuche gaben folgende Resultate:

Nr. des Ver- suches.	°C.	Coëfficient gefunden.	Coëfficient nach Formel 26) berechnet.	Differenz.
1	2.0	4.2373	4.2053	— 0.0320
2	9.8	3.5446	3.6006	+ 0.0560
3	14.6	3.2651	3.2599	— 0.0052
4	19.0	2.9050	2.9687	+ 0.0637
5	23.0	2.7415	2.7215	— 0.0200
6	27.8	2.3735	2.4470	+ 0.0735
7	35.6	1.9972	2.0521	+ 0.0549
8	43.3	1.7142	1.7244	+ 0.0102

Die Mittel aus den Versuchen 1, 2, 3, 4; 2, 3, 4, 5, 6, 7 und 5, 6, 7, 8 geben die Interpolationsformel:

$$26) c = 4.3706 - 0.083687 t + 0.0005213 t^2.$$

22. Schwefelige Säure in Alkohol.

Der zu den Versuchen benutzte reine Alkohol vom specifischen Gewicht 0.792 wurde, wie bei dem Schwefelwasserstoff angegeben, mit schwefeliger Säure gesättigt, die aus reiner Schwefelsäure und Kupferspänen bereitet und sorgfältig gewaschen war. Um das Gewicht der schwefeligen Säure in den gesättigten Flüssigkeiten zu erhalten, wurde ein abgemessenes Volumen derselben mit so viel ausgekochtem Wasser verdünnt, dass 10000 Gewichtstheile Flüssigkeit weniger als 4 Gewichtstheile der Säure enthielten, und der Säuregehalt in dieser Flüssigkeit durch Jodtitrirung ermittelt.

Beträgt das Gewicht eines absorbirten Gases nur einen kleinen Bruchtheil von dem Gewichte der absorbirenden Flüssigkeit, so kann man ohne merklichen Fehler das Volumen der mit Gas gesättigten Flüssigkeit ihrem

Volumen vor der Sättigung gleichsetzen. Bei Flüssigkeiten dagegen, welche so viel Gas absorbiren, dass deren specifisches Gewicht merklich geändert wird, ist dies nicht gestattet. Man muss in diesem Falle das den Sättigungsgraden entsprechende specifische Gewicht bestimmen und mit Hülfe desselben aus dem Volumen der gesättigten Flüssigkeit das Volumen berechnen, welches die Flüssigkeit vor der Gasaufnahme gehabt haben würde.

Es seien zunächst in dem bei t^0 C. und P Druck gesättigten, in Cubikcentimetern gemessenen, mit V bezeichneten Alkoholvolumen p Grm. schwefeliger Säure durch den Versuch gefunden; es sei ferner das specifische Gewicht der gasförmigen schwefeligen Säure s , das des gesättigten Alkohols s_1 , das des reinen Alkohols vor der Sättigung s_2 , so ergibt sich der Absorptionscoefficient, d. h. das bei t^0 C. und 0^m76 Quecksilberdruck mit 1 Vol. reinen Alkohols verbindbare Gasvolumen aus folgender Betrachtung: Das abgemessene gesättigte Alkoholvolumen V wiegt Vs_1 , das darin mit der schwefeligen Säure verbundene Volumen reinen Alkohols wiegt demnach $(Vs_1 - p)$ und nimmt das Volumen $\frac{Vs_1 - p}{s_2}$ ein. Dies Volumen reinen Alkohols hat aber $\frac{773p}{s}$ Volumina schwefelige Säure aufgenommen. 1 CC. Alkohol nimmt daher, bei P Druck und t Sättigungstemperatur $\frac{773ps_2}{s(Vs_1 - p)}$ CC. des Gases auf.

Der Absorptionscoefficient c oder das bei der Sättigungstemperatur t^0 C. und dem Drucke 0.76 von einem Volumen reinen Alkohols aufgenommene Volumen schwefeliger Säure beträgt daher:

$$27) \ c = \frac{0.76 \cdot 773 \cdot p \cdot s_2}{P (V_{s_1} - p) s}$$

Um c berechnen zu können, mussten daher zunächst die spezifischen Gewichte der zu den Versuchen verwendeten gesättigten Alkoholvolumina bestimmt werden. Zu dieser Bestimmung dienten folgende Versuche:

Nr. des Ver- suches.	Sätti- gungs- tempera- tur °C	Specif. Ge- wicht der er- haltenen Lösung.	Mittel s_1	Specif. Gewicht nach For- mel 28).	Differenz.
1	4.0	$\left\{ \begin{array}{l} 1.0664 \\ 1.0580 \end{array} \right.$	1.0622	1.0671	+ 0.0049
2	11.6	$\left\{ \begin{array}{l} 0.9846 \\ 0.9914 \end{array} \right.$	0.9880	0.9906	+ 0.0026
3	16.0	$\left\{ \begin{array}{l} 0.9490 \\ 0.9564 \end{array} \right.$	0.9527	0.9597	+ 0.0070
4	20.1	$\left\{ \begin{array}{l} 0.9370 \\ 0.9434 \end{array} \right.$	0.9402	0.9400	— 0.0002
5	23.5	$\left\{ \begin{array}{l} 0.9242 \\ 0.9322 \end{array} \right.$	0.9282	0.9302	+ 0.0020

Das Mittel von 1, 2; 2, 3, 4 und 4, 5 führt auf die Interpolationsformel:

$$28) \ c = 1.11937 - 0.014091 t + 0.000257 t^2.$$

Mit Hülfe derselben wurde die nachstehende Tabelle berechnet:

Sättigungs- temperatur °C.	Specif. Gewicht.	Differenz.	Sättigungs- temperatur °C.	Specif. Gewicht.	Differenz.
0	1.1194		13	0.9796	0.0077
1	1.1055	0.0139	14	0.9725	0.0071
2	1.0922	0.0133	15	0.9658	0.0067
3	1.0794	0.0128	16	0.9597	0.0061
4	1.0671	0.0123	17	0.9541	0.0056
5	1.0553	0.0118	18	0.9490	0.0051
6	1.0441	0.0112	19	0.9444	0.0046
7	1.0333	0.0108	20	0.9404	0.0040
8	1.0231	0.0102	21	0.9368	0.0036
9	1.0134	0.0097	22	0.9338	0.0030
10	1.0042	0.0092	23	0.9312	0.0026
11	0.9955	0.0087	24	0.9292	0.0020
12	0.9873	0.0082	25	0.9277	0.0015

Aus dieser Tabelle ergeben sich die zur Berechnung nöthigen Werthe von s_1 . Die übrigen Elemente sind folgenden Versuchen entnommen:

Nr. des Ver- suches.	t °C.	P	p	S_1	
1	3.2	0.7576	2.1677	1.0769	$V=4.00$ $S_2=0.792$
2	5.8	0.7458	1.9432	1.0463	
3	11.0	0.7566	1.5663	0.9955	
4	14.0	0.7510	1.3678	0.9725	
5	17.0	0.7558	1.2259	0.9541	
6	20.0	0.7438	1.0920	0.9404	
7	24.4	0.7536	0.9698	0.9286	

Durch Substitution dieser Werthe in die eben entwickelte Formel erhält man:

Nr. des Ver- suches.	°C.	Coëfficient gefunden.	Coëfficient nach Formel 29) berechnet.	Differenz.
1	3.2	276.62	277.57	— 0.95
2	5.8	240.72	240.81	+ 0.09
3	11.0	177.84	179.91	— 2.07
4	14.0	149.29	152.45	— 3.16
5	17.0	130.12	130.61	— 0.49
6	20.0	114.48	114.38	+ 0.10
7	24.4	97.54	100.75	— 3.21

Die Interpolationsformel für diese Versuche wurde aus den Mitteln von 1, 2; 3, 4, 5 und 6, 7 berechnet:

$$29) c = 328.62 - 16.95t + 0.3119t^2.$$

23. Schwefelige Säure in Wasser.

Die mit Wasser auf die eben angegebene Weise ausgeführten Versuche führten auf folgende Fundamentalbestimmungen:

Nr. des Ver- suches.	°C.	Coëfficient gefunden.	Coëfficient nach Formel 30) berechnet.	Differenz.
1	4.0	68.64	69.89	+ 1.25
2	10.0	55.79	56.65	+ 0.86
3	15.6	46.30	46.25	— 0.05
4	21.0	37.02	37.97	+ 0.95
5	26.0	32.13	31.58	— 0.55

Die Interpolationsformel 30) ist aus den Mitteln von 1, 2, 3; 2, 3, 4 und 3, 4, 5 berechnet:

$$30) c = 79.789 - 2.6077 t + 0.02935 t^2.$$

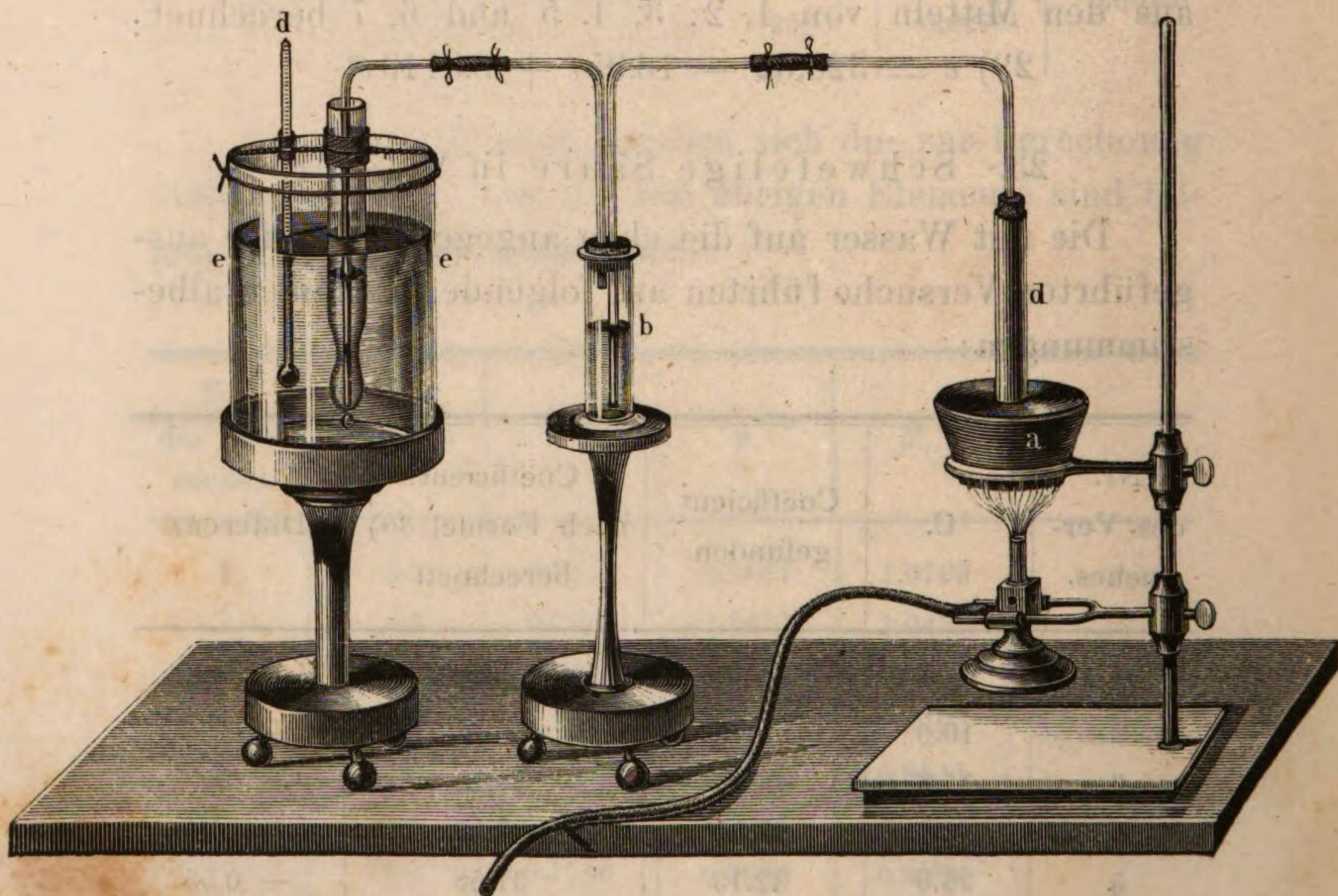
Das specifische Gewicht s_1 der bei den Temperaturen t gesättigten Lösungen war

t	s_1
0° C.	1.0609
10 „	1.0547
20 „	1.0239

24. Ammoniak in Wasser.

Um die Absorptionscoëfficienten des Ammoniaks und überhaupt aller solcher Gase zu bestimmen, deren Löslichkeit eine noch grössere ist als die der schwefeligen Säure, wendet man am besten folgendes Verfahren an, nach wel-

Fig. 51.



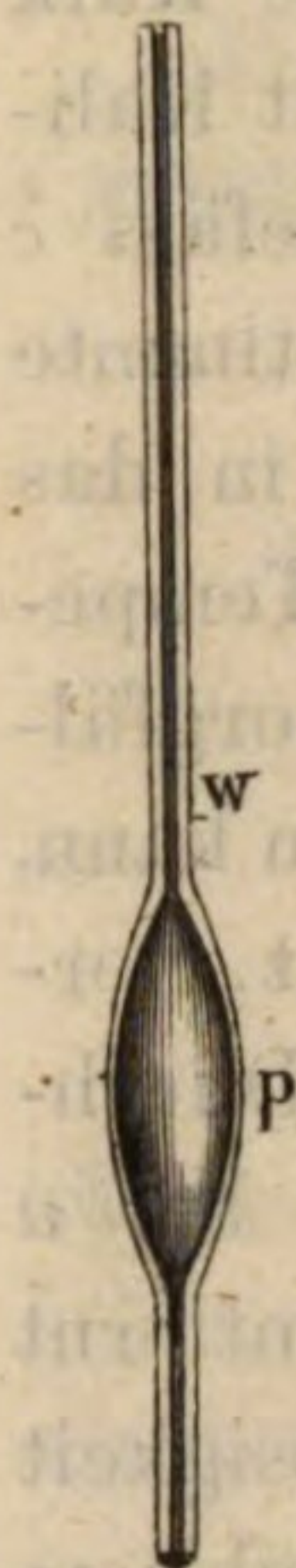
chem Dr. Carius die unten mitgetheilten Absorptionscoëfficienten des Ammoniaks festgestellt hat.

Das in dem eisernen Gefässe *a*, Fig. 51, aus Kalk und Salmiak entwickelte, in der Waschflasche *b* mit Kalilösung gewaschene Ammoniakgas wird in das Gefäss *c* geleitet, in welchem sich das zur Sättigung bestimmte ausgekochte Wasser befindet. Das Gefäss *c* ist in das Wasser eines Kühlgefässes *ee* eingesenkt, dessen Temperatur *t* mit Hülfe des Thermometers *d* auf das Sorgfältigste constant erhalten wird. Sobald man annehmen kann, dass das Wasser vollkommen mit Gas gesättigt ist, verschliesst man den unteren Theil des Fig. 52 im Durch-



Fig. 52. schnitt dargestellten Absorptionsgefässes bei *u* mit dem eingeschliffenen Glasstabe *m*, entfernt die oberhalb *u* befindliche Ammoniakflüssigkeit durch sorgfältiges Ausspülen mit abgekühltem Wasser und füllt den Raum von *u* bis *n* mit Wasser an. Durch Oeffnen des Stöpsels *m* erhält man die in dem Gefäss *uv* vorhandene gesättigte Ammoniaklösung durch das darüber stehende Wasser bis zu dem Grade verdünnt, dass sie ohne Verlust mit Schwefelsäure titirt werden kann. Der genau in Cubikcentimetern ausgemessene Hohlraum des Gefässes *uv* giebt das Volumen *V* des zu dem Versuche benutzten gesättigten Wassers; die Titrirung die für die beobachtete Sättigungstemperatur und den Barometerstand *P* in diesem Wasservolumen enthaltene Ammoniakmenge *p* in Grammen. Das specifische Gewicht der gesättigten Ammoniaklösung *s*₁ lässt sich nicht auf gewöhnliche Weise in einem Messfläschchen bestimmen, weil schon die geringste Erwärmung oder das blosse Ausgiessen der gesättigten Lösung einen erheblichen Gasverlust veranlassen würde.

Man fällt daher die sorgfältig gewogene und vorher in einer Kältemischung abgekühlte Pipette *p*, Fig. 53, bis zur Marke *w* mit dem gesättigten Ammoniakwasser an, befreit dieselbe schnell mit abgekühltem Fliesspapier von der aussen anhängenden Flüssigkeit, bringt sie schnell in ein zuvor ebenfalls gewogenes, zur Hälfte mit Wasser gefülltes Proberöhrchen und wägt sie mit diesem. Zieht man von dem gefundenen Gesamtgewichte das Gewicht des Proberohres mit Wasser nebst dem Gewichte der Pipette ab, so erhält man das Gewicht der abgemessenen Flüssigkeit. Das Volumen derselben ergibt sich aus dem zuvor genau gemessenen Inhalte der Pipette. Auf diese Weise wurden folgende specifische Gewichte s_1 für die bei den Temperaturen $t^\circ \text{C.}$ mit Ammoniak gesättigten Flüssigkeiten erhalten.



	$t^\circ \text{C.}$	Inhalt der Pipette in Grm.	Specif. Gew. s_1 gefunden.	Specif. Gew. nach Formel 31) berechnet.	Differenz.
1	0.53	2.5291	0.8531	0.8549	+ 0.0018
2	4.60	2.5702	0.8670	0.8649	— 0.0021
3	9.54	2.5992	0.8767	0.8756	— 0.0011
4	14.41	2.6261	0.8858	0.8845	— 0.0013
5	19.71	2.6454	0.8923	0.8924	+ 0.0001
6	25.01	2.6654	0.8991	0.8984	— 0.0007

Aus den Mittelwerthen von 1, 2, 3; 2, 3, 4, 5; 4, 5, 6 erhält man die Interpolationsformel:

$$31) \quad s_1 = 0.85355 + 0.0026269 t - 0.0000333 t^2$$

mit Hülfe deren die folgende Tabelle berechnet ist:

° C.	Specif. Gew.	Differenz.	° C.	Specif. Gew.	Differenz.	° C.	Specif. Gew.	Differenz.
0	0.8535		9	0.8746	0.0021	18	0.8903	0.0014
1	0.8561	0.0026	10	0.8766	0.0020	19	0.8916	0.0013
2	0.8587	0.0026	11	0.8785	0.0019	20	0.8928	0.0012
3	0.8611	0.0026	12	0.8804	0.0019	21	0.8940	0.0012
4	0.8637	0.0026	13	0.8823	0.0019	22	0.8952	0.0012
5	0.8663	0.0026	14	0.8841	0.0018	23	0.8963	0.0011
6	0.8689	0.0026	15	0.8858	0.0017	24	0.8974	0.0011
7	0.8713	0.0024	16	0.8874	0.0016	25	0.8984	0.0010
8	0.8725	0.0022	17	0.8889	0.0015			

Die nach der beschriebenen Methode ausgeführten Absorptionsversuche gaben folgende Werthe:

Nr. des Ver- suches.	Temperatur t ° C. bei der Absorption.	Barometer P .	Ammoniak- gewicht p in V $= 5.0764$ CC. Flüssigkeit.	Dasselbe p in $V =$ 2.9646 CC. Flüssigkeit.
1	0.53	0.7553	1.9010	1.1127
2	4.60	0.7509	1.7924	1.0492
3	9.54	0.7509	1.6965	—
4	14.41	0.7546	1.6021	0.9376
5	19.71	0.7546	1.4988	0.8751
6	25.01	0.7525	1.3963	0.8138

Aus diesen Werthen erhält man mit Hülfe der in die Formel 27) substituirten Constanten für Ammoniak folgende Absorptionscoefficienten für Ammoniak im Wasser:

Nr. d. Ver- suches.	° C.	Gefundene Coëfficienten.			Coëfficient nach Formel 32) berechnet.	Differenz.
		1. Vers.- Reihe.	2. Vers.- Reihe.	Mittel aus 1 u. 2.		
1	0.53	1032.3	1036.0	1034.1	1034.1	— 0.00
2	4.60	918.9	922.5	920.7	927.3	+ 6.54
3	9.54	822.2	—	822.2	825.4	+ 3.14
4	14.41	735.3	737.7	736.5	736.4	— 0.10
5	19.71	655.4	655.2	655.3	657.8	+ 2.54
6	25.01	586.5	584.8	585.7	585.7	+ 0.02

Die Zahlen der sechsten Verticalspalte sind mittelst der Interpolationsformel:

$$32) \ c = 1049.63 - 29.496 t + 0.67687 t^2 - 0.0095621 t^3$$

berechnet, welche aus den Werthen der 2. und 5. Verticalspalte abgeleitet ist.

25. Atmosphärische Luft im Wasser.

Wir haben oben gesehen, dass das relative Verhältniss, in welchem die Bestandtheile eines Gasgemisches vom Wasser absorbirt werden, nicht allein von den Absorptionscoëfficienten der Gemengtheile abhängt, sondern auch von dem relativen Verhältnisse, in denen die letzteren mit einander gemischt sind. Wenn die Absorptionscoëfficienten verschieden sind, so treten die Bestandtheile in einem anderen Verhältniss in das Wasser über, als in welchem sie das Gasgemisch zusammensetzen. Dieses letztere erleidet daher selbst eine Aenderung seiner Zusammensetzung, die mit dem Massenverhältniss des Wassers zum Gase variabel ist. Aus diesem Grunde lässt sich der Absorptionscoëfficient eines gemischten Gases aus dem blos-

sen relativen Verhältnisse der Gemengtheile und deren Absorptionscoëfficienten nur dann berechnen, wenn die Masse des Gases gegen die Masse der absorbirenden Flüssigkeit so gross ist, dass die durch die Absorption selbst bedingte Aenderung in der Zusammensetzung des Gasrückstandes als verschwindend klein betrachtet werden kann. Es kann daher von einem Absorptionscoëfficienten der atmosphärischen Luft nur insofern die Rede sein, als es sich um Absorptionserscheinungen handelt, bei welchen dieser Bedingung Genüge geleistet wird.

Nimmt man, wie oben, als mittlere Zusammensetzung der Atmosphäre an:

$$\begin{array}{rcl} \text{Sauerstoff} & 0.2096 & = O \\ \text{Stickstoff} & 0.7904 & = N \\ & \hline & 1.0000, \end{array}$$

so ergeben sich die gesuchten Coëfficienten c für Luft in Wasser, wenn man in den Gleichungen:

$$V_0 = \frac{\alpha P O V_1}{0.76 (N + O)} \text{ und } V = \frac{\beta P N V_1}{0.76 (N + O)}$$

für $N + O$, sowie für V_1 den Werth 1, und für P den Werth 0,76, endlich für N und O die oben angegebenen Werthe substituirt, aus der Gleichung:

$$c = 0.2096 \alpha + 0.7904 \beta.$$

Erst nachdem die Absorptionscoëfficienten einer Reihe von Gasen durch die vorhergehenden Untersuchungen festgestellt waren, ergab sich die Möglichkeit, das Absorptionsgesetz für praktische Zwecke nutzbar zu machen.

Lässt man bei gleichbleibender Temperatur dasselbe Volumen eines einfachen Gases, dessen Absorptionscoëfficient α ist, ein Mal unter dem Drucke P und ein anderes Mal unter dem Drucke P_1 von ein und derselben Wasser-

masse h absorbiren, so sind nach Formel 2) die unter den Drucken P und P_1 absorbirten Gasvolumina:

$$g = \frac{\alpha P h}{0.76} \text{ und } g_1 = \frac{\alpha P_1 h}{0.76}.$$

Daraus folgt:

$$\frac{g}{g_1} = \frac{P}{P_1}.$$

Die nachstehenden, mit dem Absorptiometer ausgeführten Versuche zeigen in der That, dass innerhalb der Grenze der Beobachtungsfehler die von derselben Wassermasse bei derselben Temperatur absorbirten Kohlensäurevolumina g mit den ihnen zugehörigen Pressungen P proportional wachsen.

Kohlensäure bei 19°.9 C.

Nr.	P	g	$\frac{P}{P_1}$	$\frac{g}{g_1}$
1	0.7255	38.61		
2	0.5245	27.24	1.38	1.42
3	0.5237	27.08	1.39	1.43
4	0.5231	27.28	1.39	1.42

Kohlensäure bei 3°.2 C.

Nr.	P	g	$\frac{P}{P_1}$	$\frac{g}{g_1}$
1	0.5244	31.41	—	—
2	0.6467	38.66	0.8109	0.8125
3	0.6470	38.49	0.8105	0.8161

Besser noch lässt sich diese Proportionalität zwischen den absorbirten Gasmengen und den auf ihnen lastenden Pressungen da nachweisen, wo es sich um partiaren Druck handelt, d. h. wo die Druckänderung eines Gases durch Verdünnung mit einem anderen bewirkt wird. Die Formel 7)

$$\frac{x}{x + y} = \frac{W - B}{A - B} \cdot \frac{A}{W}$$

giebt dazu ein bequemes Mittel an die Hand. Mit Hülfe derselben lässt sich die Zusammensetzung eines aus zwei Gasen bestehenden Gemisches berechnen, wenn folgende Grössen bekannt sind: α_1 der Absorptionscoëfficient des einen Gases; β_1 der des anderen; V das gemeinschaftliche Volumen beider Gase vor der Absorption unter dem Drucke P ; V_1 das übrigbleibende Volumen nach der Absorption unter dem Drucke P_1 ; und endlich h das absorbirende Wasservolumen. Berechnet man daher die Zusammensetzung eines Gasgemenges aus diesen durch Beobachtung gefundenen Elementen und ergiebt die Rechnung eine Zusammensetzung, die mit der auf eudiometrischem Wege direct ermittelten übereinstimmt, so lässt sich daraus der Schluss ziehen, dass die der Formel zum Grunde liegenden Prämissen richtig sind, und dass mithin das eben für totale Pressungen nachgewiesene Gesetz auch für partiare gültig ist.

Zu den nachstehenden Versuchen dienten Gemenge von Kohlensäure und Wasserstoff.

Erster Versuch.

Eudiometrische Bestimmung.

	Vol.	Druck.	° C.	Vol. bei 0° 1mm Dr.
Wasserstoff	120.6	0.7214	13.6	82.87
Nach Zusatz von Koh- lensäure	129.4	0.7269	13.5	89.63

Zusammensetzung des Gases in 100 Theilen:

Wasserstoff . . . 92.46

Kohlensäure . . . 7.54

100.00

Absorptiometrische Analyse desselben Gases.

	Vol.	Druck.	° C.	Vol. bei 0°.
Angewandtes Gas .	180.94	0.5368	15.4	171.29
Nach der Absorption	122.01	0.6809	5.5	119.61

Absorbirendes Wasservolumen 356.7

356.1

Im Mittel 356.4

Hiernach ergeben sich folgende Rechnungselemente:

$$\begin{aligned}
 P &= 0.5368; & V &= 171.29; \\
 P_1 &= 0.6809; & V_1 &= 119.61; \\
 \alpha &= 1.4199; & \beta &= 0.0193; \\
 h &= 356.4;
 \end{aligned}$$

und daraus die Zusammensetzung:

	Absorptiometrisch.	Eudiometrisch.
Wasserstoff . .	0.9207	0.9246 = v_1
Kohlensäure . .	0.0793	0.0754 = v
	1.0000	1.0000

Mit Hülfe der Formeln:

$$\begin{aligned}
 u &= \frac{x}{x+y} = \frac{AB_1}{AB_1 + A_1B}, \\
 u &= \frac{y}{x+y} = \frac{A_1B}{AB_1 + A_1B}
 \end{aligned}$$

findet man die Zusammensetzung des Gasrückstandes, welcher nach der Absorption über dem Wasser zurückgeblieben ist:

Wasserstoff . .	0.9829
Kohlensäure . .	0.0171
	1.0000

Da sich das Gasgemenge nach beendigter Absorption unter dem Drucke $P_1 = 0^m6809$ befand, so betrug bei diesem Versuche der partiäre Druck der Kohlensäure

$$u P_1 = 0^m0116,$$

der des Wasserstoffs aber

$$u_1 P_1 = 0^m6692.$$

Zweiter Versuch.

Eudiometrische Bestimmung.

	Vol.	Druck.	° C.	Vol. bei 0° 1 mm. Dr.
Wasserstoff	62.2	0.6449	7.5	39.03
Nach Zulassung von Kohlensäure	82.1	0.6649	6.4	53.34

Zusammensetzung des Gases:

Wasserstoff . . . 0.7319

Kohlensäure . . . 0.2681

1.0000

Absorptiometrische Analyse desselben Gases.

	Vol. bei 0° C.	Druck.	° C.
Angewandtes Gas . . .	119.03	0.4951	6.8
Erste Absorption . . .	72.02	0.6116	5.1
Zweite Absorption . . .	60.39	0.7297	12.8
Dritte Absorption . . .	75.71	0.6020	23.3

Absorbirendes Wasservolumen:

206.83

206.61

206.61

207.11

Mittel 206.79

Daraus folgt für den ersten Absorptionsversuch:

$$\begin{aligned} P &= 0.4951; & V &= 119.03; \\ P_1 &= 0.6116; & V_1 &= 72.02; \\ \alpha &= 1.4434; & \beta &= 0.0193; \\ h &= 206.79; \end{aligned}$$

für die zweite Absorption:

$$\begin{aligned} P &= 0.4951; & V &= 119.03; \\ P_1 &= 0.7297; & V_1 &= 60.39; \\ \alpha &= 1.0726; & \beta &= 0.0193; \\ h &= 206.79; \end{aligned}$$

für die dritte Absorption:

$$\begin{aligned} P &= 0.4951; & V &= 119.03; \\ P_1 &= 0.6020; & V_1 &= 75.71; \\ \alpha &= 0.8555; & \beta &= 0.0193. \\ h &= 206.79; \end{aligned}$$

Die Berechnung des ersten Absorptionsversuchs giebt daher:

	Absorptiometrisch.	Eudiometrisch.
Wasserstoff . . .	0.7343	0.7319
Kohlensäure . . .	0.2657	0.2681
	1.0000	1.0000

Ferner ist die aus der eudiometrischen Analyse berechnete Zusammensetzung des über dem absorbirenden Wasser bleibenden Gasrückstandes:

Kohlensäure . . .	0.0699
Wasserstoff . . .	0.9301
	1.0000

Daraus ergibt sich der partiare Druck des Wasserstoffes zu 0^m5688 und der der Kohlensäure zu 0^m04275.

Für den zweiten Absorptionsversuch erhält man:

	Absorptiometrisch.	Eudiometrisch.
Wasserstoff . .	0.7372	0.7319
Kohlensäure . .	0.2628	0.2681
	1.0000	1.0000

Ebenso für den Gasrückstand über der Absorptionsflüssigkeit:

Kohlensäure . .	0.07712
Wasserstoff . .	0.92288
	1.00000

Daraus folgt der partiare Druck, unter dem die Absorption erfolgte: —

Für die Kohlensäure	0 ^m 0563
und für den Wasserstoff	0 ^m 6734.

Der dritte Absorptionsversuch führt auf die nachstehende Zusammensetzung:

	Absorptiometrisch.	Eudiometrisch.
Wasserstoff . .	0.7285	0.7319
Kohlensäure . .	0.2715	0.2681
	1.0000	1.0000

Dies entspricht einem Gasrückstand von der Zusammensetzung:

Kohlensäure . .	0.1036
Wasserstoff . .	0.8964
	1.0000

Der Druck der Kohlensäure ist hier 0^m06236 und der des Wasserstoffgases 0^m5396.

Das mit der eudiometrischen Analyse verglichene Mittel aus diesen drei Bestimmungen ist demnach:

	Absorptiometrische Analyse.	Eudiometrische Analyse
Kohlensäure	73.33	73.19
Wasserstoff	26.67	26.81
	<u>100.00</u>	<u>100.00</u>

Wie weit über die untersuchten Grenzen hinaus das Gesetz noch als gültig angesehen werden darf, lässt sich nicht a priori angeben. Dass auch hier, wie bei dem Mariotte'schen Gesetz, eine Grenze nachweisbar sein wird, über welche hinaus die Gesetzmässigkeit durch veränderte molekuläre Einflüsse getrübt erscheint, ist wohl nicht zu bezweifeln. Die durch die vorliegende Untersuchung festgestellten Grenzen der Genauigkeit reichen indess schon vollkommen hin, um einige nicht uninteressante Folgerungen an diesen Gegenstand knüpfen zu können. Namentlich gewinnt die Eudiometrie durch das Absorptionsgesetz einen ganz neuen Standpunkt, von dem aus es möglich wird, ohne alle chemischen Versuche nicht nur die gemengte oder einfache Beschaffenheit eines Gases, sondern auch die Natur der darin auftretenden Gemengtheile zu erkennen, ja sogar deren Mengenverhältniss festzustellen, wenn nur die Absorptionscoëfficienten der betreffenden Gase ein- für allemal ermittelt sind. Um zu zeigen, wie eine solche absorptiometrische Messung als Reaktionsmittel zur Erkennung von Gasen dienen kann, lasse ich einen Versuch mit Grubengas folgen, der zur Genüge darthut, dass selbst da noch Aufschlüsse zu erlangen sind, wo die Werthe der in der Rechnung auftretenden Absorptionscoëfficienten nur wenig von einander differiren.

Man hat bisher, auf das Resultat eudiometrischer Analysen gestützt, das Gas, welches bei höheren Temperaturen aus der Einwirkung der Alkalihydrate auf essig-

saure Alkalien hervorgeht, für Grubengas gehalten. Obgleich diese Annahme kaum jemals in Zweifel gezogen ist, so entbehrt sie doch jedes positiven Beweises. Denn zwei Volumina Grubengas verhalten sich, wie Kolbe und Frankland gezeigt haben, bei der eudiometrischen Verbrennung genau wie zwei Volumina eines Gemenges von gleichen Raumtheilen Wasserstoff und Methyl. Beide geben auf ein Volumen Gas ein gleiches Volumen Kohlensäure und erfordern zu ihrer Verbrennung die doppelte Menge Sauerstoff. Die eudiometrische Analyse lässt es daher vollkommen unentschieden, ob das fragliche Gas aus essigsauren Alkalien als Grubengas, oder als ein Gemenge von Methyl und Wasserstoff anzusehen ist. Auf dem Wege der absorptiometrischen Analyse ist diese Frage leicht und sicher zu entscheiden. Gehen wir zunächst von der ersten Alternative aus, dass das fragliche Gas aus gleichen Volumen Methyl und Wasserstoff bestehe, so wird ein im Absorptiometer unter dem Drucke P gemessenes, auf 0° reducirtes Volumen V unter dem Drucke 0.76 bestehen aus:

$$\frac{P V}{2 \cdot 0.76} \text{ Methyl}$$

und

$$\frac{P V}{2 \cdot 0.76} \text{ Wasserstoff.}$$

Behandelt man dieses Gas mit dem Wasservolumen h_1 und erhält man nach beendigter Absorption für das unabsorbirt gebliebene Gasvolumen den Beobachtungswerth V_1 bei dem Drucke P_1 , so lässt sich die Summe der Absorptionscoëfficienten bei der Temperatur der Absorption (für Wasserstoff α_1 und für Methyl β_1) durch die beobachteten Grössen ausdrücken. Nennt man das nach der Absorption zurückbleibende Wasserstoffgas x_1 und das

zurückbleibende Methyl y_1 [beide bei 0.76 Druck und 0° C. gedacht], so wird dieses x_1 in Folge seiner Verdünnung mit Methyl unter dem partiaren Drucke $\frac{x_1 \cdot 0.76}{V_1}$ stehen. Unter diesem Drucke wird es aber von dem Wasservolumen h_1 absorbirt. Das auf 0.76 Druck und 0° C. reducirt gedachte absorbirte Wasservolumen ist daher dem Absorptionsgesetz zufolge $\frac{x_1}{V_1} \alpha_1 h_1$. Dieser absorbirte Wasserstoff + dem unabsorbirt gebliebenen x_1 giebt den ursprünglich vorhandenen Wasserstoff $\frac{P V}{2 \cdot 0.76}$, nämlich:

$$\frac{P V}{2 \cdot 0.76} = x_1 \left(1 + \frac{\alpha_1 h_1}{V_1} \right)$$

oder

$$x_1 = \frac{P V}{2 \cdot 0.76 \left(1 + \frac{\alpha_1 h_1}{V_1} \right)}$$

Substituirt man diesen Werth von x_1 in den Ausdruck $\frac{0.76 x_1}{V_1}$, so erhält man für den Druck des Wasserstoffs in dem nach der Absorption zurückgebliebenen Gemenge

$$\frac{P V}{2 (V_1 + \alpha_1 h_1)}$$

und für den Druck des Methyls durch eine ähnliche Betrachtung

$$\frac{P V}{2 (V_1 + \beta_1 h_1)}$$

Aus dem Absorptionsgesetze folgt aber, dass die Summe dieser beiden Pressungen dem beobachteten Drucke P_1 gleich ist. Man hat also:

$$P_1 = \frac{P V}{2 (V_1 + \alpha_1 h_1)} + \frac{P V}{2 (V_1 + \beta_1 h_1)},$$

oder

$$33) \quad \alpha_1 + \beta_1 = \frac{P V}{2 P_1 h_1} - \frac{2 V_1}{h_1}.$$

Ein von Dr. Pauli ausgeführter Versuch mit einem Gase, das durch Erhitzen von essigsaurem Kali und Kalihydrat erhalten und durch rauchende Schwefelsäure und Aetzkali von jeder Verunreinigung mit Elayl und Kohlensäure sorgfältig befreit war, gab folgende Rechnungselemente:

Ursprüngliches auf 0° C. reducirtes Gasvolumen	$V = 116.42$
Druck dieses Gasvolumens	$P = 0.5065$
Angewandtes auf 0° C. reducirtes Volumen nach der	
ersten Absorption	$V_1 = 75.18$
Zugehöriger Druck	$P_1 = 0.6615$
Absorbirendes Wasservolumen	$h_1 = 318.11$
Beobachtungstemperatur	12.8°C.
Absorptionscoefficient für Wasserstoff bei 12.8°C.	$\alpha_1 = 0.01930$
Absorptionscoefficient für Methylgas bei 12.8°C.	$\beta_1 = 0.05446$
Absorptionscoefficient für Grubengas bei 12.8°C.	$\gamma_1 = 0.04106$
Auf 0° reducirtes Vol. nach der zweiten Absorption	$V_n = 79.04$
Zugehöriger Druck	$P_n = 0.6561$
Absorbirendes Wasservolumen	$h_n = 325.05$
Beobachtungstemperatur	$t_n = 24.6^\circ \text{C.}$
Absorptionscoefficient für Wasserstoff bei 24.6°C.	$\alpha_n = 0.01930$
Absorptionscoefficient für Methyl bei 24.6°C.	$\beta_n = 0.04181$
Absorptionscoefficient für Grubengas bei 24.6°C.	$\gamma_n = 0.03166$

Führt man die Rechnung aus, so erhält man aus beiden Absorptionsversuchen einen negativen Werth für $\alpha_1 + \beta_1$ und $\alpha_n + \beta_n$, nämlich

$$- 0.3325 \text{ und } - 0.34807$$

statt der, der Absorptionstabelle VI entnommenen Summe der Absorptionscoefficienten des Methyls und Wasserstoffs

$$+ 0.07376 \text{ und } + 0.06111.$$

Das untersuchte Gas kann daher nicht aus gleichen Raumtheilen Methyl und Wasserstoff bestehen.

Berechnet man dagegen aus denselben Elementen unter der Annahme, dass das Gas ein einfaches ist, die Werthe für γ_1 und γ_n , so erhält man fast genau die Absorptionscoëfficienten, welche in der Tabelle für Grubengas den Temperaturen 12.8° C. und 24.6° C. entsprechen. Die Formel 1):

$$\frac{VP}{h_1 P_1} - \frac{V_1}{h_1} = \gamma_1$$

giebt in der That nach der im Anhang mitgetheilten Tabelle VI. für die Absorption bei 12.8° C.

$$\gamma_1 = 0.0439$$

statt des wirklichen Werthes 0.0411, und für die Absorptionstemperatur 24.6° C.

$$\gamma_n = 0.0333$$

statt 0.03166. Aus dieser Uebereinstimmung lässt sich daher der Schluss ziehen, dass das aus essigsaurem Kali bereitete Grubengas weder ein Gemenge von Methyl und Wasserstoff, noch eine mit dem natürlichen Grubengase isomere Substanz, sondern ganz derselbe Stoff ist, welcher den Schlammvulcanen bei Bulganak in der Krim entströmt.

Es hat der Wissenschaft bisher an einer allgemeinen Methode gefehlt, die Gemengtheile von Gasgemischen durch Reagentien zu erkennen. Die auf eudiometrischem Wege gefundene quantitative Zusammensetzung eines Gases stützt sich fast immer nur auf gewisse hypothetische Voraussetzungen über die qualitative Zusammensetzung. Führt z. B. die eudiometrische Analyse auf die Zusammensetzung des Grubengases, so bleibt es, wie eben erwähnt wurde, vollkommen unentschieden, ob das untersuchte Gas nicht ein Gemenge von gleichen Raumtheilen

Methyl und Wasserstoff war. Führt dieselbe Analyse auf ein Gemisch von Grubengas und Wasserstoff, so bleibt es ebenfalls unentschieden, ob man nicht ein Gemenge von Methyl und Wasserstoff, oder von Methyl, Wasserstoff und Grubengas unter Händen hatte. Alle Analysen, bei denen man Wasserstoff neben dem letzteren Gase angegeben findet, lassen sich nach der einen oder anderen dieser Alternativen berechnen, ohne dass es bisher möglich gewesen ist, die Richtigkeit für eine derselben zu erweisen.

Solche Zweifel sind mit Hülfe des Absorptionsgesetzes leicht zu beseitigen; denn die Absorptionscoëfficienten vertreten die Stelle der uns bei der Gasanalyse fehlenden Reagentien und bieten noch dazu die Eigenthümlichkeit dar, dass sie nicht nur die qualitative, sondern zugleich auch die quantitative Zusammensetzung anzeigen. Nehmen wir z. B. an, dass ein unbekanntes Gas in der unbekannten Menge x mit der unbekannten Menge y eines zweiten ebenfalls unbekannten Gases gemischt sei, so genügen drei absorptiometrische Versuche, um zu finden: 1) welche Gase in dem Gemenge vorhanden sind, und 2) wie viel die Menge jedes einzelnen beträgt.

Der Weg, diese Aufgabe zu lösen, ist folgender. Man fängt eine hinlängliche Quantität des zu prüfenden Gases auf und bestimmt dessen Volumen, Druck und Temperatur im Absorptiometer.

Nennt man das ursprünglich beobachtete, auf 0°C . reducirte Volumen V und dessen Druck P , so ergibt sich die oben entwickelte Gleichung 6):

$$1 = \frac{x}{VP} + \frac{y}{VP}.$$

Vollführt man darauf drei Absorptionen durch die im Absorptiometer gemessenen Wasservolumina $h_1 h_2 h_3$, und ergeben sich bei der constant erhaltenen Temperatur t

nach den jedesmaligen Absorptionen successiv folgende beobachtete, auf 0°C. reducirte Volumina und Pressungen: $V_1, P_1; V_2, P_2; V_3, P_3$; so hat man folgende Gleichungen, worin α den Absorptionscoefficienten des ersten und β den Absorptionscoefficienten des zweiten unbekannten Gases bei der Beobachtungstemperatur t bedeuten:

$$1 = \frac{x}{(V_1 + \alpha h_1) P_1} + \frac{y}{(V_1 + \beta h_1) P_1},$$

$$1 = \frac{x}{(V_2 + \alpha h_2) P_2} + \frac{y}{(V_2 + \beta h_2) P_2},$$

$$1 = \frac{x}{(V_3 + \alpha h_3) P_3} + \frac{y}{(V_3 + \beta h_3) P_3}.$$

In diesen vier Gleichungen lassen sich die vier Unbekannten x, y, α, β leicht bestimmen. Die beiden letzteren sind die Absorptionsordinaten zweier Gase für die Temperaturabszisse t . Berechnet man die numerischen Werthe derselben, so findet man in den Absorptionstabellen die Gase, welche diesen Werthen für die Temperatur t entsprechen, wodurch die Natur des Gemenges festgestellt ist. Die Werthe von x und y geben dann noch das Mengenverhältniss der Gemengtheile. Die Bestimmung von α und β bietet bei zwei Gasen keine Schwierigkeiten dar. Setzt man $P V = a, P_1 V_1 = a_1, P_2 V_2 = a_2, P_3 V_3 = a_3$ und $P_1 h_1 = b_1, P_2 h_2 = b_2, P_3 h_3 = b_3$, so ergibt sich zunächst:

$$\alpha + \beta = \frac{a_1 b_2 b_3 (a - a_1)(b_2 - b_3) - a_2 b_1 b_3 (a - a_2)(b_1 - b_3) + a_3 b_1 b_2 (a - a_3)(b_1 - b_2)}{b_1 b_2 b_3 [a_1 (b_2 - b_3) - a_2 (b_1 - b_3) + a_3 (b_1 - b_2)]}$$

$$\alpha \beta = \frac{a_2 b_3 (a - a_2) - a_3 b_2 (a - a_3) - b_2 b_3 (a_2 - a_3) A}{b_2 b_3 (b_2 - b_3)},$$

und wenn man die Ausdrücke auf der rechten Seite dieser Gleichungen mit A und B bezeichnet:

$$34) \quad \alpha + \beta = A.$$

$$35) \quad \alpha - \beta = \pm \sqrt{A^2 - 4B}.$$

Die Summe dieser beiden Gleichungen giebt den Werth von α , die Differenz derselben den Werth von β .

Mit Hülfe dieser Werthe von α und β endlich erhält man:

$$36) \quad y = \frac{(a_2 - a + \alpha b_2) (a_2 + \beta b_2)}{b_2 (\alpha - \beta)},$$

$$37) \quad x = a - y.$$

Als Beispiel einer solchen Berechnung wähle ich die qualitative und quantitative Bestimmung des Gasgemenges, welches man bei dem Erhitzen von concentrirter Schwefelsäure mit Oxalsäure erhält. Da dieses Gasgemenge stets Spuren von schwefliger Säure beigemengt enthält, so wurde es durch eine kleine Menge Wasser geleitet, in welchem Mangansuperoxyd suspendirt war, und erst zu den Versuchen aufgefangen, als das vorgelegte Wasser mit Gas gesättigt und alle atmosphärische Luft aus den schädlichen Räumen verdrängt war. Die eudiometrische Analyse des so gereinigten Gases gab:

	Vol.	Druck.	° C.	Vol. bei 0° u. 1 ^m Dr.
Anfängliches Volumen	142.9	0.6965	20.2	92.70
Nach Absorption der Kohlensäure . .	74.6	0.6637	19.0	46.29

	Gefunden.	Berechnet.
Kohlenoxyd . .	50.06	50.00
Kohlensäure . .	49.94	50.00
	<u>100.00</u>	<u>100.00</u>

Die absorptiometrische Bestimmung, welche in der Weise ausgeführt ward, dass die absorbirende Wasser-

menge h nach jeder Bestimmung vermehrt wurde, gab folgende Elemente:

	Vol. bei 0° C.	Druck.	° C.	Wasservolu- men h .
Angewandtes Gas .	500.8	0.5760	19.0	0
Nach der 1. Absorption	384.0	0.6882	19.0	81.6
Nach der 2. Absorption	340.0	0.7015	19.2	186.9
Nach der 3. Absorption	283 3	0.7415	19.0	335.5

Aus diesen Elementen erhält man mit Hülfe der eben entwickelten Formeln 34) und 35) für β den Werth 0.9248. Die Absorptionstabelle VI zeigt, dass es kohlen saures Gas ist, welchem für die Beobachtungstemperatur $t = 19^\circ \text{C}$. dieser Absorptionscoëfficient entspricht; denn die Tabelle giebt für dieses Gas die Zahl 0.9150, welche der gefundenen fast gleich kommt. Wir schliessen bekanntlich von der Beschaffenheit eines Niederschlages, von seiner Farbe, seiner Löslichkeit u. s. w. auf das Vorhandensein einer Substanz. Hier ist es nicht ein Niederschlag, sondern eine bestimmte, aus Beobachtungen berechnete Ordinate einer Löslichkeitscurve, welche die Stelle des Reagens vertritt. Wie aber von verschiedenen Substanzen oft Fällungen erzeugt werden, die in ihrem Verhalten einander so nahe stehen, dass sie nicht mehr als Unterscheidungsmittel brauchbar sind, so können auch jene Ordinaten bei den Temperaturen, wo die Absorptionscurven sich einander nähern, tangiren oder schneiden, so wenig verschieden sein, dass man noch einen zweiten Absorptionsversuch hinzunehmen muss. Es ergeben z. B. die vorliegenden Versuche den Werth von α für die Temperatur 19°C . zu 0.0204; einen Werth, der in der That von

dem Absorptionscoefficienten des Kohlenoxydgases 0.0233, wie ihn die Absorptionstabelle für 19° C. angiebt, nur unerheblich abweicht. Allein der 19° C. entsprechende Absorptionscoefficient des Wasserstoffs 0.0193 und auch der Coefficient des Aethyls 0.0207 weichen nur so wenig von der gefundenen Zahl ab, dass die Entscheidung, welches dieser Gase vorhanden war, zweifelhaft bleiben muss. In diesem Falle ist mithin die aus einem Absorptionsversuch mit Wasser abgeleitete Zahl einem gruppenanzeigenden Reagens vergleichbar. Es bleibt dann nur noch übrig, durch einen weiteren absorptiometrischen Versuch bei einer anderen Temperatur oder mit einer anderen Flüssigkeit zu ermitteln, welches von den durch den ersten Versuch angezeigten Gasen wirklich vorhanden war. Die Bestimmung der Absorptionscoefficienten der Gase für Alkohol, für Salzlösungen und andere Flüssigkeiten bildet daher insofern ein wichtiges Element für die Gasanalyse, als daraus eine beliebige Anzahl von Bedingungs- gleichungen abgeleitet werden kann, deren jede die Bedeutung und den Werth eines neuen Reaktionsmittels besitzt.

Hat man auf dem eben angedeuteten Wege mit Hülfe von α und β die substantielle Natur der Gase einmal festgestellt, so braucht man nur die gefundenen Werthe für α und β in die Gleichungen 36) und 37) zu substituiren, um auch noch das quantitative Verhältniss zu berechnen, in welchem die gefundenen Gase mit einander gemengt sind.

Führt man diese Rechnung mit den obigen Versuchen und den aus den Absorptionstabellen der Kohlensäure und des Kohlenoxyds entnommenen Werthen von α und β aus, so erhält man:

	Eudio- metrisch.	Absorptiometrisch			
		1. Versuch	2. Versuch	3. Versuch	Mittel.
Kohlensäure . .	50.06	50.00	50.03	50.34	50.12
Kohlenoxyd . .	49.94	50.00	49.97	49.66	49.88
	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00.

Dieselben Elemente, welche zur Ermittlung der qualitativen Natur des untersuchten Gasgemisches gedient haben, geben daher auch die quantitative Zusammensetzung mit einer Schärfe, wie sie bei der eudiometrischen Analyse kaum grösser sein kann.

Bei dem folgenden Versuche wurde ein Gemenge von Kohlenoxyd und Grubengas und als Absorptionsflüssigkeit absoluter Alkohol angewandt. Die eudiometrische Messung gab:

	Vol.	Temp. ° C.	Druck.	Vol. bei 0° C. und 1 ^m Dr.
Kohlenoxyd . . .	185.0	5.4	0.5874	106.56
Nach Zulassung von Grubengas . . .	333 5	5.7	0.6462	111.11

Kohlenoxyd . . . 50.48

Grubengas . . . 49.52

100.00

Die Elemente der absorptiometrischen Messung waren:

	Vol. bei 0° C.	Druck.	° C.	Alkohol- volumen <i>h.</i>
Angewandtes Gas .	326.69	0.6462	5.7	0
Nach der 1. Absorption	203.44	0.6533	5.4	50.7
Nach der 2. Absorption	197.80	0.6580	5.4	74.7
Nach der 3. Absorption	193.42	0.6624	5.4	94.4

Daraus ergeben sich die Coëfficienten $\alpha = 0.5084$ und $\beta = 0.2139$. Die Gase, denen bei der Beobachtungstemperatur 5.4 diese Werthe zukommen, sind Grubengas und Kohlenoxyd, denn die im Anhang mitgetheilte Absorptionstabelle VI. giebt für das erstere 0.5075 und für das letztere 0.2139. Da es den Absorptionstabellen zufolge keine anderen Gase giebt, deren Absorptionscoëfficienten den gefundenen nahe kämen, so ist die qualitative Zusammensetzung des Gasgemisches dadurch festgestellt. Ebenso giebt die Rechnung für die quantitative Zusammensetzung:

	Eudio- metrisch.	Absorptiometrisch			
		1. Versuch	2. Versuch	3. Versuch	Mittel.
Kohlenoxyd . .	50.48	50.60	50.59	50.56	50.58
Grubengas . .	49.52	49.40	49.41	49.44	49.42
	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Eine andere Aufgabe, welche mit Hülfe des Absorptionsgesetzes ihre Lösung findet, betrifft die Veränderungen, welche ein Gasgemisch bei der Berührung mit Wasser erleidet. Das nachfolgende Beispiel eines solchen Gemisches von Kohlensäure und Kohlenoxydgas zeigt,

wie erheblich solche Veränderungen selbst bei verhältnissmässig geringen Flüssigkeitsmengen unter Umständen werden, und welche grobe Fehler eudiometrische Bestimmungen darbieten können, bei denen Wasser zur Absperung dient, oder Flüssigkeiten als Absorptionsmittel benutzt werden.

Zu dem Versuch wurde wiederum das Gemenge von Kohlenoxyd und Kohlensäure verwandt, das durch Erhitzen von Oxalsäure mit Schwefelsäure erhalten wird. Die bei einem von Herrn Dr. Atkinson mittelst des Absorptiometers ausgeführten Versuche erhaltenen Rechnungselemente waren:

$$\begin{aligned} V &= 388.4; & V_1 &= 247.69; \\ P &= 0.6557; & P_1 &= 0.7395; \\ h_1^{*}) &= 315.3; \\ \alpha &= 0.9124; & \alpha_1^{**}) &= 0.02326. \end{aligned}$$

Substituirt man diese Werthe in die Formel 7), so ergibt sich folgende Zusammensetzung des angewandten Gases:

	Absorptiometrisch.	Theorie.
Kohlensäure	49.55	50.0
Kohlenoxyd	50.45	50.0
	100.00	100.0

Die absorptiometrische Analyse führt daher auch hier wieder, wie oben, auf die Werthe:

$$V = 0.4955 \text{ und } V_1 = 0.5045.$$

Mit Hülfe derselben erhält man aus der Gleichung 6) für die Zusammensetzung des unabsorbirt gebliebenen Gases:

Kohlensäure	31.87
Kohlenoxyd	68.13
	100.00

*) In der Formel 7) mit h bezeichnet.

**) In der Formel 7) mit β bezeichnet.

Eine eudiometrische Analyse, welche Herr Dr. Atkinson mit diesem Gasrückstande angestellt hat, stimmt hinlänglich mit dieser berechneten Zusammensetzung überein. Derselbe fand nämlich:

	Vol.	Druck.	° C.	Vol. bei 0° C. und 1 ^m Dr.
Anfängliches Volumen	96.1	0.6721	18.7	60.45
Nach Absorption der Kohlensäure . .	68.0	0.6556	19.3	41.64

Kohlensäure 31.12

Kohlenoxyd 68.88

100.00

Der Kohlenoxydgehalt des Gemisches ist daher von 50.45 auf 68.88 gestiegen, obwohl das absorbirende Wasservolumen dem Volumen des Gases nicht einmal gleich kam.

Erst mit Hülfe des Absorptionsgesetzes kann man sich eine richtige Vorstellung von den Vorgängen bilden, welche die Gasentwickelungen in Mineralquellen begleiten. Es giebt unter den salzärmeren nicht alkalischen Sauerlingen solche, deren Absorptionscoefficient von dem des reinen Wassers nicht merklich verschieden ist, und die ausser Kohlensäure keine Spur irgend eines anderen Gases enthalten. Wenn solche Quellen, wie es fast immer der Fall ist, mit Gas gesättigt sind, so lässt sich eine Grenze angeben, über welche hinaus der Kohlensäuregehalt niemals steigen kann. Diese Grenze des Kohlensäuregehalts ist abhängig:

- 1) von der Temperatur der Quellen;
- 2) von der Wassertiefe des Quellenschachtes;
- 3) von der Meereshöhe der Quellen.

Quellen der angedeuteten Art, welche von chemisch-reiner Kohlensäure durchströmt werden und ohne Pressung in der Höhe des Meeresniveaus zu Tage kommen, zeigen je nach ihrer Temperatur einen sehr verschiedenen Gasgehalt. Sie enthalten in einem Liter Wasser für die nachstehend angegebenen Temperaturen folgende Mengen Kohlensäure:

° C.	Cubikcentimeter Gas in 1 Liter Wasser.
0	1796.7
5	1449.7
10	1184.7
15	1002.0
20	901.4

Wenn dieselbe Quelle unter sonst völlig gleichen Verhältnissen in einer Meereshöhe entspränge, wo der herrschende durchschnittliche Luftdruck nur zwei Drittel des mittleren Barometerstandes betrüge, so würde sie nur zwei Drittel der obigen Kohlensäuremenge enthalten können.

Es wird daraus verständlich, wie der Gasgehalt eines Sauerlings, der von reiner, frei aufsteigender Kohlensäure durchströmt wird, sich dadurch bedeutend steigern lässt, dass man durch Abteufung eines Quellenschachts den Wasserdruck vermehrt, unter dem das Gas aus dem Boden hervordringt, wie dies schon Bischoff in seinen trefflichen Untersuchungen über die Quellenerscheinungen gezeigt hat. Beträgt z. B. die Tiefe vom Quellspegel bis zum Boden 15 Fuss, so wird das Wasser, wo es aus der Erde quillt, um ein Drittel mehr Kohlensäure als die oben angegebenen Mengen enthalten können. Das

Wasser verliert zwar wieder, indem es zum Quellenspiegel emporsteigt, im Verhältniss des verringerten Druckes einen Theil seines Gases. Allein das zufolge des Absorptionsgesetzes eintretende statische Gleichgewicht erfordert eine namhafte Zeit zu seiner Herstellung. So enthält z. B. die Petersquelle zu Petersthal im Schwarzwalde, welche chemisch-reine Kohlensäure führt und eine Temperatur von 10° C. besitzt, am Quellenspiegel bei 0^m735 Barometerstand 1270.4 Cubikcentimeter Kohlensäure im Liter, während sie nach diesem Drucke und dem Absorptionscoefficienten der Kohlensäure für 10.3° C. an dieser Stelle nur 1133.3 Cubikcentimeter enthalten sollte. Das Wasser ist daher mit Kohlensäure übersättigt. Ueberlässt man ein mit solchem Wasser am Quellenspiegel völlig angefülltes Gefäss sich selbst, so sieht man den Gasüberschuss allmählig in kleinen Gasperlen entweichen. Durch Schütteln oder jede andere heftige Erschütterung wird das Gleichgewicht in wenigen Augenblicken hergestellt und das Wasser auf den normalen Gasgehalt herabgebracht. Durch eine ähnliche Betrachtung lässt sich leicht der Beweis führen, dass manche über den Kohlensäuregehalt von Sauerlingen angestellte Beobachtungen fehlerhaft sein müssen. So wird z. B. von Sigwart der Kohlensäuregehalt der Fürstenquelle in Imnau zu 2500 Cubikcentimeter im Liter angegeben. Bei dem mittleren Barometerstande und der Quellentemperatur 6.3° C. kann das Wasser aber dem Absorptionsgesetze zufolge nach eingetretenem Gleichgewicht nicht mehr als 1373.2*) Cubikcentimeter enthalten. Der Gasgehalt 2500 fordert

*) Der geringe, nur 9 Gran im Pfunde betragende Gehalt der Quelle an festen Bestandtheilen kann den Absorptionscoefficienten nicht merklich ändern, niemals aber vergrössern.

einen Quecksilberdruck von 1^m3836, oder einen dem mittleren Barometerstande hinzuzufügenden Wasserdruck von 8.449. Da sich aber unmöglich annehmen lässt, dass die Imnauer Quelle unter dem Drucke einer mindestens 25 Fuss hohen Wassersäule zu Tage kommt, und eine Uebersättigung um fast das Doppelte des normalen Gasgehaltes eben so undenkbar ist, so müssen die Angaben Sigwart's auf einem Irrthum beruhen. Die Unrichtigkeit vieler anderer ähnlicher Angaben lässt sich auf diesem Wege leicht erweisen.

Die Beziehungen, welche zwischen den freien und absorbirten Gasen einer Quelle dem Absorptionsgesetze zufolge bestehen, geben zugleich einen sicheren Anhaltspunkt zur Beurtheilung des Einflusses, welchen ein Stickstoffgehalt der frei aufsteigenden Quellengase auf den Kohlensäurereichthum des Wassers ausübt. Die zweite und dritte Columne der nachstehenden, nach den oben entwickelten Formeln berechneten Tabelle zeigt den Procentgehalt an Kohlensäure und Stickstoff im absorbirten Gase für den in der ersten Columne angegebenen procentischen Stickstoffgehalt des freien Gases, die Temperatur des Wassers zu 15.1° C. angenommen.

Frei aufsteigendes Gas	Im Quellwasser absorbirtes Gas	
Stickstoffgehalt	Stickstoff	Kohlensäure
I.	II.	III.
10 Proc.	1.613	98.387
20 „	3.558	96.442
30 „	5.949	94.051
40 „	8.958	91.042
50 „	12.861	87.139
60 „	18.127	81.873
70 „	25.623	74.377
80 „	37.123	62.877
90 „	57.052	42.948

Aus dieser Tabelle ist z. B. ersichtlich, dass, wenn das eine Quelle von 15.1° C. frei durchströmende Gas neben 90 Proc. Stickstoff nur 10 Proc. Kohlensäure enthält, der Kohlensäuregehalt des vom Quellwasser absorbirten Gases 42.9 Proc. betragen muss. Auf diesem Wege lässt sich bei Mineralwasseranalysen die Zusammensetzung der im Wasser enthaltenen Gase leicht durch Rechnung finden, wenn die Zusammensetzung des frei aufsteigenden aus Versuchen bekannt ist. Ermittelt man die Zusammensetzung beider direct und stimmt die gefundene Zusammensetzung mit der aus der Rechnung abgeleiteten überein, so ergibt sich daraus eine schätzbare Controle für die Richtigkeit beider Analysen.

Es versteht sich von selbst, dass alle diese auf das Absorptionsgesetz gegründeten Schlüsse nur für den Fall zulässig sind, wo sich zwischen dem freien und absorbirten Gase wirklich ein statisches Gleichgewicht herstellen kann. Dies ist nicht nur bei solchen von Gasen durchströmten Quellen, sondern ganz insbesondere auch bei den die Erdoberfläche befruchtenden meteorischen Niederschlägen der Fall. Auch für diese gilt daher das Gesetz in seiner ganzen Schärfe.

Fünfter Abschnitt *).

Diffusion der Gase.

Füllt man eine lange, unten verschlossene, vertical stehende Glasröhre vom Boden aus zur Hälfte mit unterchloriger Säure oder einem anderen gefärbten Gase an, so ruht im oberen Theile des Rohrs auf dem gefärbten Gase eine farblose Luftsäule. Pumpt man, bevor eine Vermischung erfolgt ist, einen Theil der Luft aus, so rückt die an der Farbe erkennbare Grenzfläche beider Gase mit dem zunehmenden Grade der Verdünnung aufwärts, wobei sich der, durch seitlich an der Röhre angebrachte Manometer messbare Druck in allen Schichten beider Gasäulen auf gleiche Weise ändert. Wir können daraus schliessen, dass Theilchen substantiell verschiedener Gase dieselben Druckwirkungen auf einander ausüben, wie die Theilchen gleichartiger.

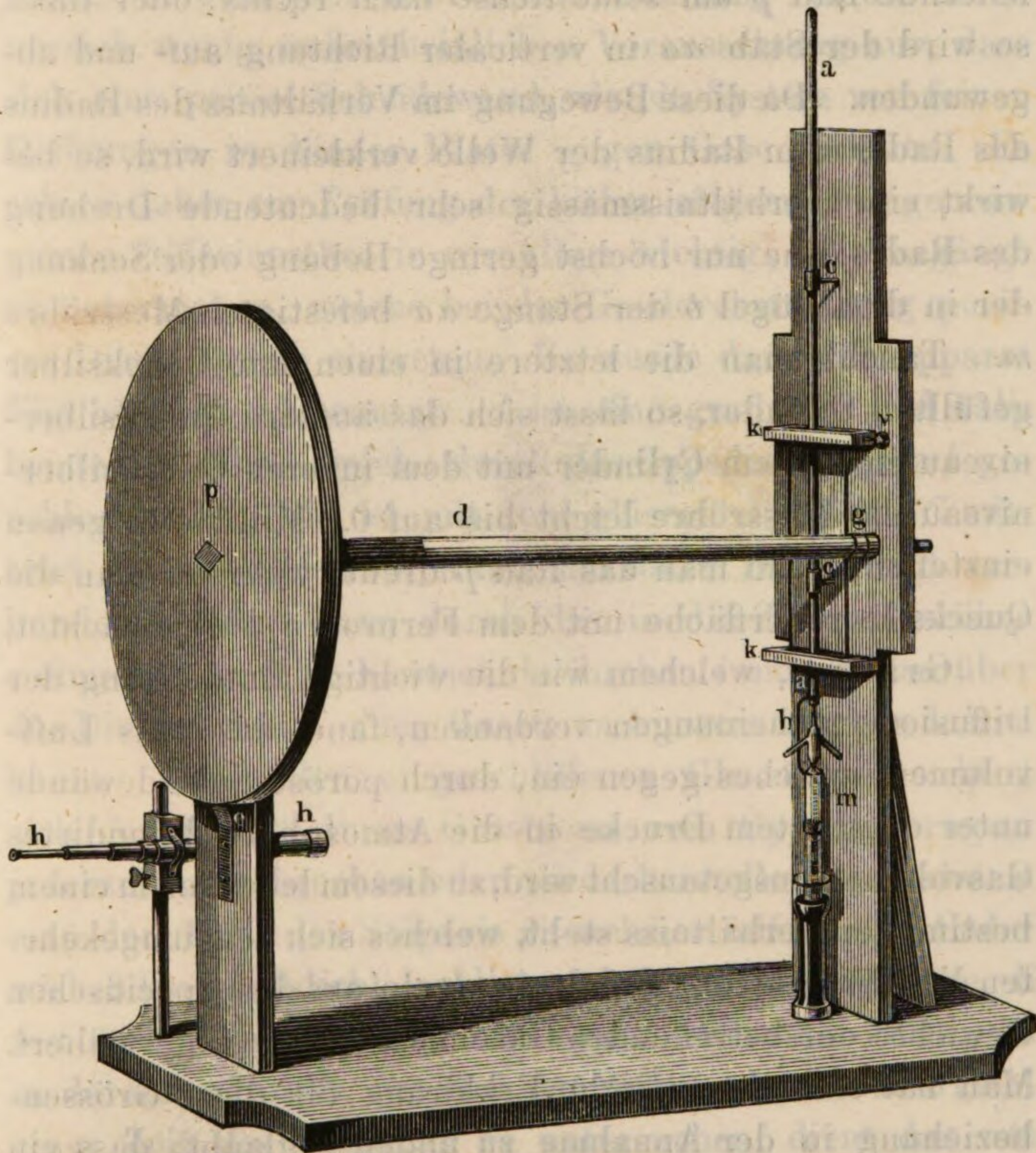
Neben diesen Druckwirkungen und ganz unabhängig von denselben tritt noch eine zweite Erscheinung, die

*) Die in diesem Abschnitte enthaltenen theoretischen Resultate sind einer unvollendet gebliebenen, noch nicht publicirten Untersuchung entnommen, die Prof. Stegmann und der Verfasser vor mehreren Jahren gemeinschaftlich ausgeführt haben.

Gasdiffusion, auf. Sie äussert sich darin, dass die Gase mit Geschwindigkeiten, die von ihrer chemischen Natur abhängen, sich gegenseitig von ihrer Berührungsfläche aus so lange durchdringen, bis die Dichtigkeit jedes einzelnen Gemengtheils an jedem Punkte des Raumes, den sie erfüllen, dieselbe geworden ist. Trennt man die beiden Gase durch eine poröse Scheidewand, z. B. durch ein Gypsdiaphragma, dessen Poren einen solchen Reibungswiderstand darbieten, dass die Geschwindigkeit hindurchgepresster Gase selbst für erhebliche Druckkräfte noch eine geringe bleibt, so zeigt sich, dass auch solche durch ein Diaphragma getrennte Gase mit erheblichen Geschwindigkeiten in einander überströmen. Wird der Druck über und unter dem Diaphragma stets gleich erhalten, so sieht man, dass die dasselbe in entgegengesetzter Richtung durchströmenden Gasvolumina für gleiche Zeiten nicht gleich sind, dass also die Gase je nach ihrer substantiellen Natur mit ungleichen Geschwindigkeiten solche Diaphragmen durchdringen. Wollte man es versuchen, die Diffusionsgeschwindigkeiten zweier Gase zu ermitteln, während dieselben frei mit einander communiciren, so würde man es nicht mit den von der Diffusion herrührenden Bewegungserscheinungen allein zu thun haben. Denn wenn sich Gase mit verschiedenen Geschwindigkeiten in einander bewegen, so muss sich der dadurch ungleich veränderte Gesamtdruck ausgleichen und Bewegungen hervorbringen, welche unabhängig von denen sind, die jedes einzelne Gas durch die Diffusion allein erlitten haben würde. Bei Untersuchungen über Diffusion ist daher vor Allem darauf zu sehen, dass der störende Einfluss eines ungleichen Druckes sorgfältig vermieden wird. Um dieser Bedingung bei Gasen, deren Volumina sich stetig ändern, Genüge leisten zu können,

bedient man sich des Diffusiometers, eines Instrumentes von folgender Einrichtung: *aa*, Fig. 54, ist ein durch die

Fig. 54.



Hülsen *cc* in verticaler Richtung beweglicher Holzstab an welchem vermittelt des kleinen eisernen Bügels *b* das Gefäß für das unter constantem Drucke zu erhaltende Gas eingeschraubt wird. Zwischen den beiden mit diesem Stabe in fester Verbindung stehenden Armen *kk* ist eine um die Welle *d* bei *g* geschlungene Darmsaite ausge-

spannt, welche durch einen Violinschlüssel *v* angezogen werden kann. Dreht man das mit der Welle *d* fest verbundene, gegen die Stahlfeder *e* mit gleitender Reibung federnde Rad *p* um seine Achse nach rechts oder links, so wird der Stab *aa* in verticaler Richtung auf- und abgewunden. Da diese Bewegung im Verhältniss des Radius des Rades zum Radius der Welle verkleinert wird, so bewirkt eine verhältnissmässig sehr bedeutende Drehung des Rades eine nur höchst geringe Hebung oder Senkung der in dem Bügel *b* der Stange *aa* befestigten Messröhre *m*. Taucht man die letztere in einen mit Quecksilber gefüllten Cylinder, so lässt sich das äussere Quecksilberniveau in diesem Cylinder mit dem inneren Quecksilberniveau der Messröhre leicht bis auf 0.1 Millimeter genau einstellen, wenn man das Rad *p* dreht, während man die Quecksilberoberfläche mit dem Fernrohre *hh* beobachtet.

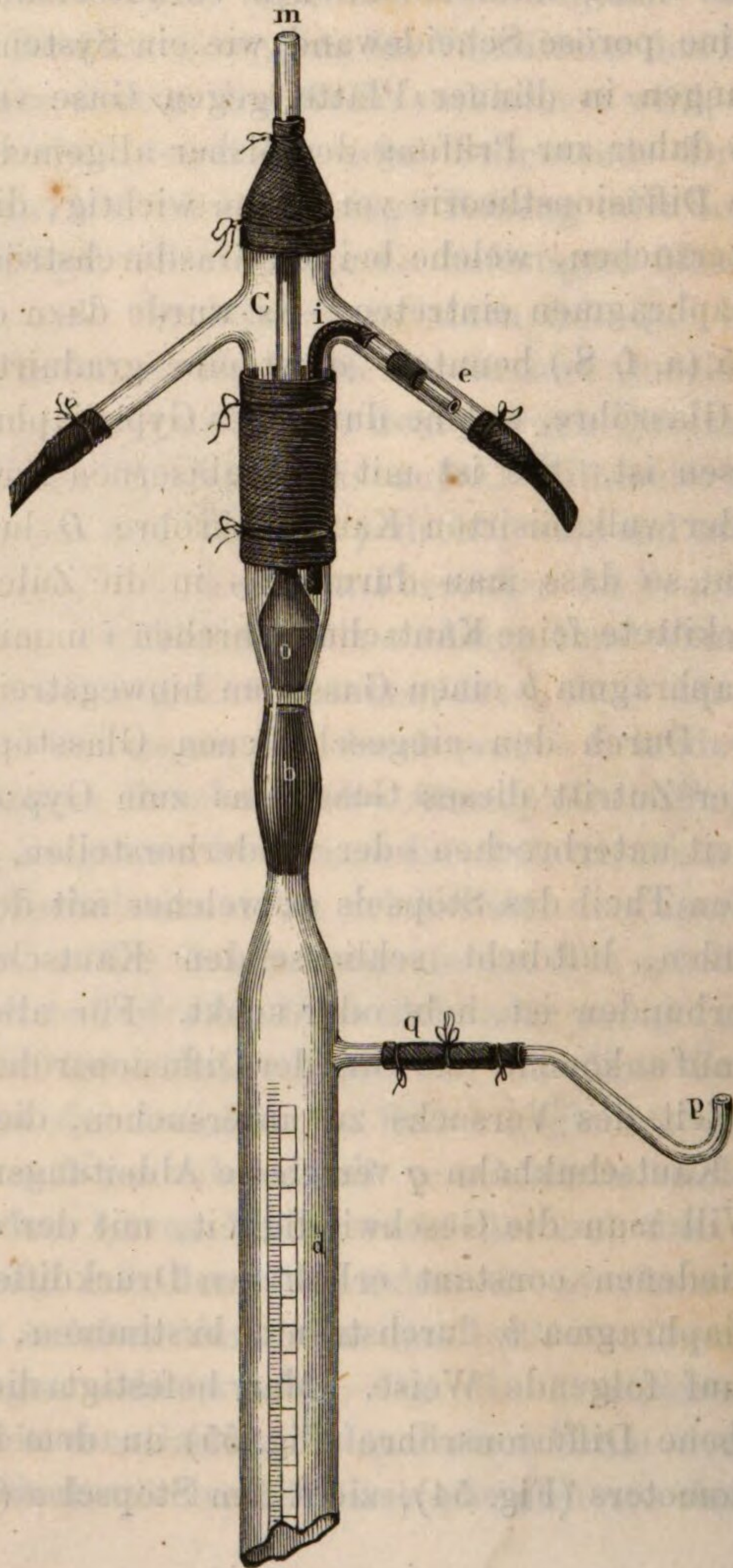
Graham, welchem wir die wichtige Entdeckung der Diffusionserscheinungen verdanken, fand, dass das Luftvolumen, welches gegen ein, durch poröse Scheidewände unter constantem Drucke in die Atmosphäre diffundirtes Gasvolumen ausgetauscht wird, zu diesem letzteren in einem bestimmten Verhältniss steht, welches sich dem umgekehrten Verhältnisse der Quadratwurzeln aus dem specifischen Gewichte der betreffenden Gase mehr oder weniger nähert. Man hat eine theoretische Erklärung für diese Grössenbeziehung in der Annahme zu finden geglaubt, dass ein Gas in ein anderes substantiell verschiedenes sich eben so wie in den leeren Raum verbreite und dass dabei die Bewegung mit derselben relativen Geschwindigkeit erfolge, mit welcher dieselbe in dem luftleeren Raume vor sich gegangen sein würde. Da die Einströmungsgeschwindigkeit von Gasen in den leeren Raum dem reciproken Quadratwurzelverhältnisse, wie sich aus dem Ver-

suche und der Theorie ergibt, nur für den speciellen Fall entspricht, dass der Ausfluss durch eine feine Oeffnung in dünner Platte, nicht aber durch capillare Canäle erfolgt, so geht jene theoretische Erklärung von der schon an sich wenig wahrscheinlichen Voraussetzung aus, dass sich eine poröse Scheidewand wie ein System von feinen Oeffnungen in dünner Platte gegen Gase verhalte. Es schien daher zur Prüfung der bisher allgemein angenommenen Diffusionstheorie vor Allem wichtig, die Vorgänge zu untersuchen, welche bei der Gasdurchströmung poröser Diaphragmen eintreten. Es wurde dazu der Apparat Fig. 55 (a. f. S.) benutzt. *d* ist eine graduirte und kalibrierte Glasröhre, welche durch das Gypsdaphragma *b* geschlossen ist. Sie ist mit dem gläsernen Aufsatz *C* mittelst der vulkanisirten Kautschukröhre *D* luftdicht verbunden, so dass man durch das in die Zuleitungsröhre *e* eingekittete feine Kautschukröhrchen *i* unmittelbar über das Diaphragma *b* einen Gasstrom hinwegstreichen lassen kann. Durch den eingeschliffenen Glasstöpsel *o* lässt sich der Zutritt dieses Gasstroms zum Gypsdaphragma jederzeit unterbrechen oder wiederherstellen, je nachdem man den Theil des Stöpsels *m*, welcher mit der als Feder wirkenden, luftdicht schliessenden Kautschukkappe *E* fest verbunden ist, hebt oder senkt. Für alle Fälle, wo es darauf ankommt, das Gas der Diffusionsröhre zu irgend einer Zeit des Versuchs zu untersuchen, dient das mit einem Kautschukhahn *q* versehene Ableitungsrohr *p*.

Will man die Geschwindigkeit, mit der ein Gas bei verschiedenen constant erhaltenen Druckdifferenzen das Gypsdaphragma *b* durchströmt, bestimmen, so verfährt man auf folgende Weise. Man befestigt die eben beschriebene Diffusionsröhre (Fig. 55) an dem Bügel *b* des Diffusiometers (Fig. 54), zieht den Stöpsel *o* (Fig. 55) an

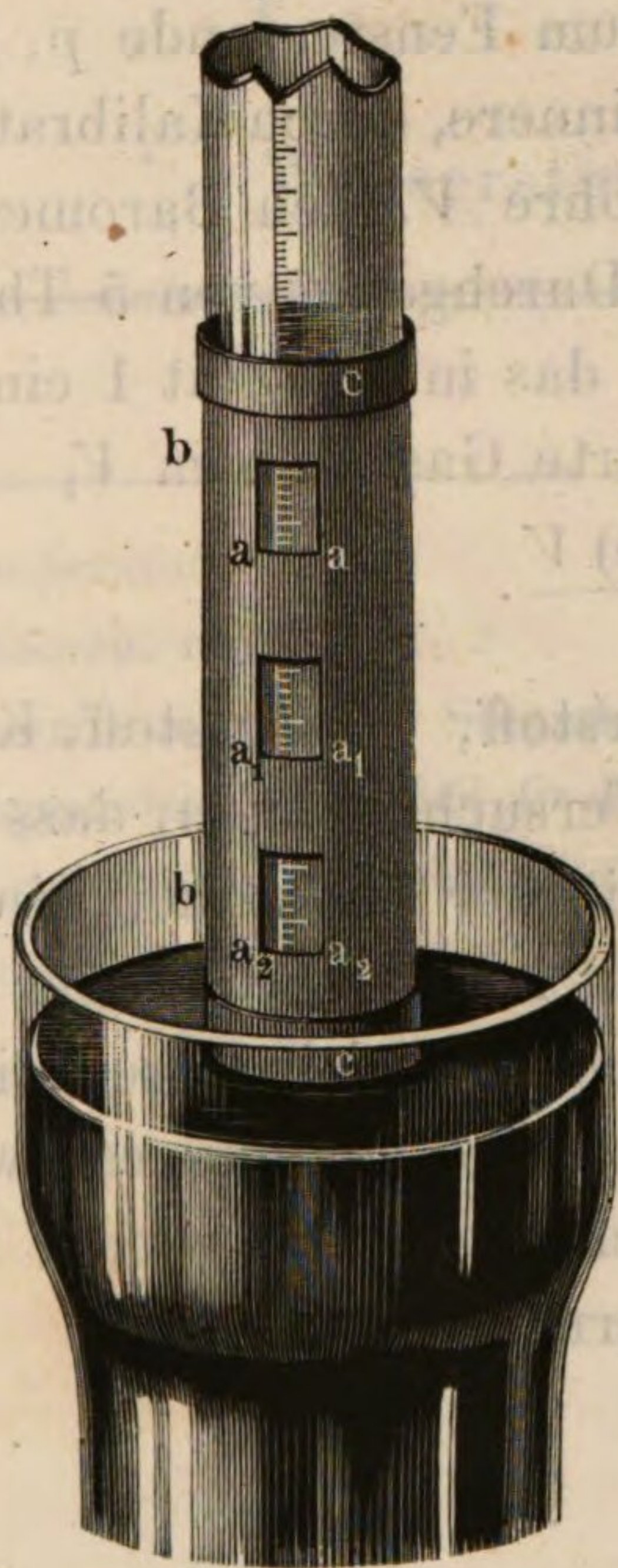
seinem Stiele *m* empor, den man mit einer Schnur, um ihn in seiner Lage zu erhalten, an einem Häkchen des Stabes *a* (Fig. 54) befestigt. Wird die Diffusionsröhre mit-

Fig. 55.



telst des Diffusiometerrades bei geschlossenem Kautschukhahn *q* in ein Gefäss mit Quecksilber eingesenkt, so entweicht die in derselben befindliche Luft durch das Diaphragma *b*. Windet man umgekehrt, während das zu untersuchende Gas in einem continuirlichen Strome durch den Aufsatz *C* streicht, das Instrument aus dem Quecksilber empor, so füllt es sich mit dem durch das Diaphragma eingepressten Gase an. Sobald durch ein solches mehrere Male wiederholtes Aus- und Einpumpen die atmosphärische Luft aus allen Theilen des Apparates entfernt ist, zieht man das bis zu dem Ansatz *qp* in Quecksilber tauchende Rohr rasch empor, ohne den Gasstrom

Fig. 56.



im Aufsatze *C* zu unterbrechen. Man hebt dadurch im Inneren der Röhre eine Quecksilbersäule über das äussere Quecksilberniveau empor. Um zu bewirken, dass diese Drucksäule während der Gaseinströmung immer dieselbe Höhe behält, dient der auf dem äusseren Quecksilberniveau ruhende Schwimmer *bb*, Fig. 56. Derselbe besteht aus einem über die Diffusionsröhre gestellten, um dieselbe ohne gleitende Reibung beweglichen Cylinder von Kartenpapier, der zur besseren Erhaltung seiner Form mit dünnen Papprändern *cc* versehen ist. In diesem Cylinder sind sechs zu je zwei sich gegenüberliegende

Fenster angebracht, deren untere Ränder aa , $a_1 a_1$, $a_2 a_2$ sich in einer genau gemessenen Höhe über der Basis des Papiercylinders befinden.

Ist der Meniscus der im Inneren der Diffusionsröhre emporgehobenen Quecksilbersäule so weit gesunken, dass er einen der Fensterränder tangirt, so erhält man ihn durch Drehung des Diffusiometerrades in diesem Niveau und beobachtet die Zeit, während welcher 5 Theilstriche der zur Erhaltung des constanten Druckes emporgewundenen Röhre durch den Fensterrand gegangen sind, was mittelst des Fernrohrs bis fast auf ein Zehntel Millimeter genau geschehen kann. Nennt man die constant erhaltene Höhe der drückenden Quecksilbersäule vom unteren Rande des Papiercylinders bis zum Fensterrande p , das je 5 Theilstrichen entsprechende innere, durch Kalibration zuvor ermittelte Volumen der Röhre V , den Barometerstand P , und die während des Durchgangs von 5 Theilstrichen verflossene Zeit t , so ist das in der Zeit 1 eingeströmte auf den Druck 1 reducirte Gasvolumen V_1

$$V_1 = \frac{(P - p) V}{t}.$$

Die nachstehenden mit Sauerstoff, Wasserstoff, Kohlensäure und Luft angestellten Versuche zeigen, dass innerhalb gewisser Grenzen diese in der Zeiteinheit eingeströmten, auf gleichen Druck reducirten Gasvolumina der Druckdifferenz p proportional sind, wobei indessen nicht ausser Acht zu lassen ist, dass sich die Ausflussgeschwindigkeiten bei sehr grossen Druckdifferenzen wieder erheblich von diesem Gesetze entfernen.

Sauerstoff in Sauerstoff.

	I.	II.	III.
Temperatur	1°2 C.	1°2 C.	1°2 C.
Barometerstand	0 ^m 7452	0 ^m 7452	0 ^m 7452
Einströmungszeit in Secunden .	259	198	102
Eingeströmtes Gas von 1 ^m Druck	25.49	39.14	31.19
Einströmungsgeschwindigkeit V_1	0.09841	0.1977	0.3058
Druckunterschied p	0 ^m 0167	0 ^m 0335	0 ^m 0520
Werth von $\frac{V_1}{p}$	5.893	5.901	5.881

Wasserstoff in Wasserstoff.

	IV.	V.	VI.
Temperatur	1°4 C.	1°4 C.	1°4 C.
Barometerstand	0 ^m 7452	0 ^m 7452	0 ^m 7452
Einströmungszeit in Secunden .	82	53	37
Eingeströmtes Gas bei 1 ^m Druck	21.85	28.46	31.19
Einströmungsgeschwindigkeit V_1	0.2665	0.5369	0.8431
Druckunterschied p	0 ^m 0167	0 ^m 0338	0 ^m 0520
Werth von $\frac{V_1}{p}$	1.596	1.589	1.621

Kohlensäure in Kohlensäure.

	VII.	VIII.
Temperatur	0°5 C.	0°5 C.
Barometerstand	0 ^m 7477	0 ^m 7477
Einströmungszeit in Secunden . .	129	41
Eingeströmtes Gas von 1 ^m Druck .	21.93	14.29
Einströmungsgeschwindigkeit V_1 . .	0.1700	0.3485
Druckunterschied p	0 ^m 0167	0 ^m 0333
Werth von $\frac{V_1}{p}$	1.018	1.046

Luft in Luft.

	IX.	X.
Temperatur	1°2 C.	1°2 C.
Barometerstand	0 ^m 7452	0 ^m 7452
Einströmungszeit in Secunden . .	254	115
Eingeströmtes Gas von 1 ^m Druck .	21.31	20.20
Einströmungsgeschwindigkeit V_1 . .	0.0839	0.1756
Druckunterschied p	0 ^m 0350	0 ^m 072
Werth von $\frac{V_1}{p}$	2.397	2.439

Sowohl bei Versuch I. und IV. als auch bei Versuch III. und IV. war ein und dasselbe 46^{mm} dicke, bei 60° getrocknete Gypsdiaphragma angewandt.

Die Ausflussgeschwindigkeit des Sauerstoffs verhielt sich zu der des Wasserstoffs wie 1 : 2.71 und wie 1 : 2.76 oder im Mittel wie 1 : 2.73. Die Geschwindigkeiten, mit

welchen beide Gase aus feiner Oeffnung in dünner Platte ausströmen, verhalten sich aber umgekehrt wie die Quadratwurzeln der specifischen Gewichte und müssten im vorliegenden Falle statt der Werthe $1 : 2.73$ die Werthe $1 : 3.995$ gegeben haben. Es ist daher klar, dass sich die Hohlräume des Gypses gegen hindurchströmende Gase nicht wie ein System von feinen Oeffnungen in dünner Platte, sondern wie ein System capillarer Röhren verhalten, und dass eine Erklärung der Diffusionserscheinungen, welche sich auf die Gesetze der Ausflussgeschwindigkeit von Gasen aus feiner Oeffnung in dünner Platte stützt, nicht die richtige sein kann.

Unter diesen Umständen erschien es unerlässlich, auf die experimentellen Grundlagen der bisherigen Diffusionstheorie zurückzugehen und durch neue Versuche vor Allem folgende Fragen zu entscheiden:

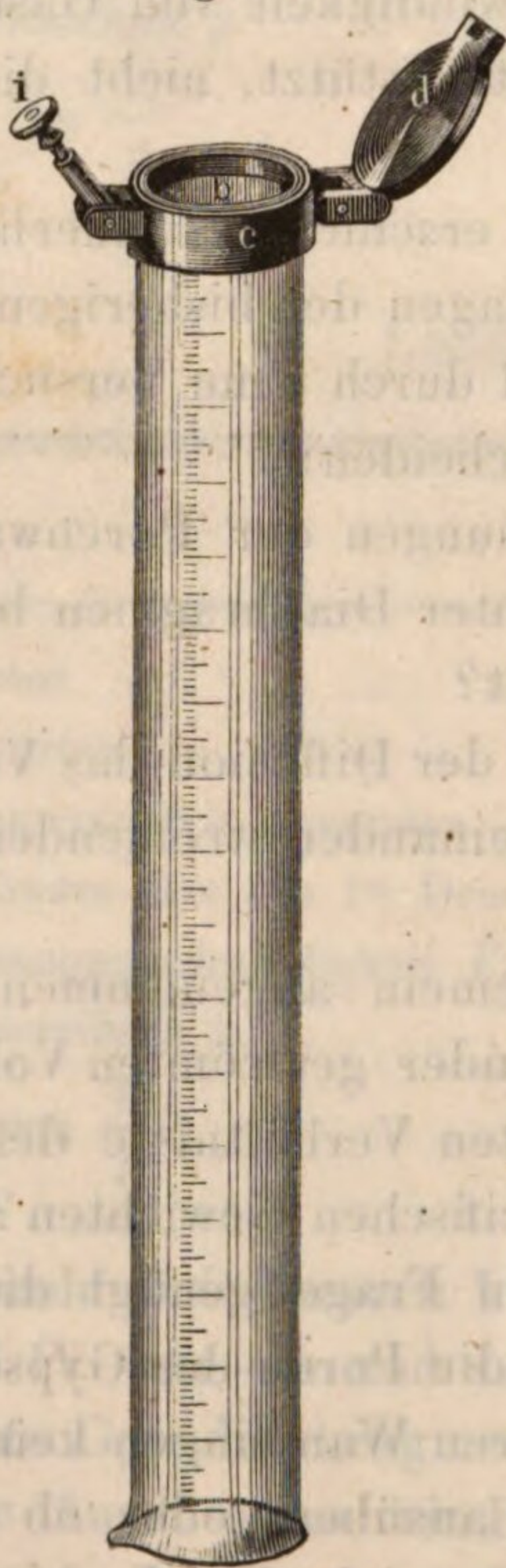
- 1) Wirken specifische Anziehungen der Porenwandungen von Gasen durchströmter Diaphragmen bei den Diffusionserscheinungen mit?
- 2) Bleibt während der Dauer der Diffusion das Verhältniss der wechselseitig in einander strömenden Gase constant?
- 3) Stehen wirklich, wie allgemein angenommen wird, die durch Diffusion in einander geströmten Volumina zweier Gase im umgekehrten Verhältnisse der Quadratwurzeln aus ihren specifischen Gewichten?

Zur Erledigung der ersten Frage genügt die Entscheidung der Alternative, ob die Poren des Gypses einfach wie Hohlräume wirken, deren Wandungen keine verdichtende Wirkungen auf Gase ausüben, oder ob es bestimmte Absorptionscoëfficienten giebt, nach denen die Gase, ähnlich wie bei Flüssigkeiten, so auch vom Gypse,

absorbirt werden. Es handelte sich daher zunächst um die Bestimmung von Absorptionscoëfficienten eines festen Körpers, des Gypses, für verschiedene Gase. Dabei wurde folgende Methode angewandt:

In das mit dem Deckel *d* luftdicht verschlossene, oben mit einer $\frac{1}{2}$ bis 1 Zoll dicken Gypsmasse ausgegossene, zur Hälfte in Quecksilber tauchende Diffusionsrohr, Fig. 57, wurde durch ein bis dicht unter die Gypsmasse *b* reichendes Zuleitungsrohr ein Gasstrom so lange gelei-

Fig. 57.



tet, bis aus dem Gyps sowohl wie aus dem Rohre alle atmosphärische Luft verdrängt war, und dann die Grösse des vom Quecksilber bis zum Gyps reichenden Gasvolumens bei verschiedenen Pressungen, die leicht durch Emporheben der Röhre über das äussere Quecksilberniveau hervorzubringen waren, beobachtet. Man erhält dadurch das Anfangsvolumen V bei dem Drucke P und das spätere Volumen V_1 bei dem Drucke P_1 . Das Volumen V , welches nur dem im Diffusionsmeterrohre und nicht im Diaphragma vorhandenen Gase entspricht, würde dem Mariotte'-

schen Gesetze zufolge bei dem Drucke P_1 den Raum $\frac{VP}{P_1}$ einnehmen. Das bei dem Drucke P_1 beobachtete Volumen V_1 enthält dieses Gasvolumen $\frac{VP}{P_1}$ und ausserdem noch das Gasvolumen, welches bei dem von P auf P_1 verminderten Druck aus dem Gypsdiaphragma ausgetreten ist. Nennt man dies letztere Volumen w , so ist

$$1) \frac{VP}{P_1} + w = V_1.$$

Bezeichnet man nun mit α den Absorptionscoëfficienten des Gypsdiaphragmas, d. h. das auf 0.76 Druck und 0°C. reducirte Gasvolumen, welches in der Volumeneinheit des Gypses (in dem Maasse der Diffusionsröhre gemessen) enthalten ist, mit v das Volumen des Diaphragmas, so enthält das Diaphragma bei dem Drucke P das Gasvolumen $\frac{P\alpha v}{0.76}$ von 0.76 Druck und bei dem Drucke P_1 das Gasvolumen $\frac{P_1\alpha v}{0.76}$ von 0.76 Druck. $\frac{P\alpha v}{0.76} - \frac{P_1\alpha v}{0.76}$ ist daher das bei der Druckverminderung von P auf P_1 aus dem Diaphragma ausgetretene Gas, auf den Druck 0.76 reducirt. Bei dem Drucke P_1 wird dieses ausgetretene Volumen daher werden: $\alpha v \left(\frac{P}{P_1} - 1 \right) = w$. Substituirt man diesen Werth von w in die Gleichung 1), so erhält man:

$$\frac{V_1 P_1 - VP}{P - P_1} = \alpha v.$$

Die nachfolgenden Versuche zeigen, dass sich für substantiell verschiedene Gase der Werth von αv nicht

merklich ändert. Ein mit Wasserstoff ausgeführter Versuch gab:

V	P	αv
20.6	0.7287	
27.7	0.6344	27.2
30.9	0.5981	26.8
32.7	0.5802	26.7
37.7	0.5375	27.5

Mittel von αv 27.1.

Die erste Columne V enthält die an der verschlossenen Diffusiometeröhre abgelesenen, nach der Kalibrirung corrigirten Gasvolumina, die zweite P die beobachteten zugehörigen Drucke und die dritte endlich die berechneten Werthe von αv . Temperaturänderungen fanden bei diesem und dem folgenden Versuche nicht statt.

Derselbe Versuch mit feuchter atmosphärischer Luft und demselben einige Stunden der Atmosphäre ausgesetzten Gypsdiaphragma wiederholt, gab:

V	P	αv
33.2	0.7290	
40.5	0.6525	27.75
47.0	0.5947	27.90

Mittel von αv 27.82.

Zwei weitere Versuche mit Luft und Kohlensäure und einem anderen Gypsdiaphragma, bei verschiedenen Temperaturen angestellt, gaben:

Luft.

V	$t^{\circ}\text{C.}$	P	V bei 0°	αv
150.9	3.0	0.7537	149.3	15.12
204.6	6.8	0.5750	200.4	

Kohlensäure.

V	$t^{\circ}\text{C.}$	P	V bei 0°	αv
141.2	8.6	0.7527	136.9	15.23
192.4	9.3	0.5689	186.1	

Aus der Unveränderlichkeit der Werthe von αv lässt sich mithin die Folgerung ziehen, dass zwischen den Porenwandungen des Gypses und den darin vorhandenen Gasen keine specifischen Anziehungen stattfinden, sondern dass sich vielmehr der Hohlraum dieser Poren ganz einfach nur mit Gas anfüllt. Absorptionserscheinungen, wie sie bei Gasen in Flüssigkeiten auftreten, können daher bei der Gasdiffusion durch Gypsdiaphragmen nicht mit ins Spiel kommen.

Man hat das Verhältniss der bei der Diffusion ein- und austretenden Gasvolumina bisher nur aus dem anfangs in der Diffusionsröhre vorhandenen Gasvolumen und dem nach vollendetem Gasaustausch übrig bleibenden bestimmt. Allein abgesehen davon, dass ein durch Diffusion ausströmendes Gas, streng genommen, niemals gleich 0 werden

kann, sondern sich nur asymptotisch diesem Werthe nähert, bietet sich eine Schwierigkeit praktischer Art dar, die es unmöglich macht, auch nur annähernd den Punkt zu erkennen, wo die Menge des ausströmenden Gases nahezu 0 geworden ist. Ob die Diffusion noch vor sich geht, lässt sich nämlich nur daran erkennen, dass sich das innere Niveau in der Diffusionsröhre über das äussere der Sperrflüssigkeit um eine noch bemerkbare Höhe erhebt. Sobald aber das Gas in der Diffusionsröhre eine gewisse Verdünnung durch ein anderes, in dasselbe diffundirendes Gas erlitten hat, wird seine Ausströmungsgeschwindigkeit so sehr verlangsamt, dass schon durch die kleinste, nicht mehr wahrnehmbare Druckdifferenz eben so viel Gas von aussen durch das Diaphragma gepresst wird, als von innen durch Diffusion austritt. Man beobachtet dann im Diffusionsrohr kein Steigen des Quecksilbers mehr, obwohl eine mit dem Inhalt der Röhre angestellte Analyse noch einen bedeutenden Gasrückstand erkennen lässt, der beweist, dass die Diffusion ihr Ende bei Weitem noch nicht erreicht hatte. Selbst bei Anwendung so scharfer Messungsmethoden, dass sich noch Differenzen von 0.1^{mm} Quecksilberdruck oder 1^{mm} Wasserdruck mit Sicherheit beobachten lassen, gelingt es nicht, eine befriedigende Uebereinstimmung in den Zahlenwerthen verschiedener Beobachtungen zu erhalten. Folgende Versuche, bei welchen ein stets erneuerter Sauerstoffstrom in ein begrenztes Wasserstoffvolumen durch das Gypsdiaphragma des Apparates Fig. 54 diffundirt wurde, zeigen dies zur Genüge:

Versuch 1. Das anfängliche Wasserstoffvolumen betrug 230.7. Das Diffusiometerrad wurde während der Diffusion so gedreht, dass sich das innere Quecksilberniveau über das äussere nie um höher als die noch eben

wahrnehmbare Differenz von 0.1^{mm} erhob. Zu Anfang der Diffusion erfolgte eine Verminderung von 5 Vol. in 10 Secunden. Nach Verlauf von 524 Secunden, wo das Wasserstoffvolumen in der Röhre auf 68.3 herabgesunken war, erforderte dieselbe Volumenverminderung 112 Secunden. Ungefähr der gleichen Zeit bedurfte es aber, um bei einer Druckdifferenz von 0.1^{mm} 5 Vol. Luft durch das Diaphragma in das mit Luft gefüllte Diffusiometerrohr zu pressen. Von dem Volumen 68.3 abwärts war daher keine Beobachtung mehr möglich. Bei dieser mit den schärfsten Mitteln bis an die äusserste noch wahrnehmbare Grenze verfolgten Diffusion betrug das Verhältniss des ausgetretenen Wasserstoffs zum eingetretenen Sauerstoff $\frac{213.6}{68.3} = 3.127$. Nach der bisherigen Annahme, dass diese Zahl durch das umgekehrte Verhältniss der Quadratwurzeln aus den specifischen Gewichten der betreffenden Gase ausgedrückt werde, hätte es

$$\frac{\sqrt{1.1056}}{\sqrt{0.06926}} = 3.995$$

sein müssen.

2. Versuch. Zu einer Verminderung des ursprünglichen Wasserstoffvolumens 183.5 um 5 Vol. wurden 8 Secunden erfordert. Als das Volumen 63.2 geworden, und keine genaue Beobachtung mehr ausführbar war, erfolgte die Volumenverminderung von 5.1 in 101 Secunden. Unter der Voraussetzung, dass der Gasaustausch vollendet war, als die weiteren Beobachtungen unausführbar wurden, giebt dieses statt der, von der bisherigen Theorie geforderten Zahl 3.995 die Zahl 2.903.

Bei den beiden eben erwähnten Versuchen musste wegen der Undurchsichtigkeit des Quecksilbers der in-

nere, um ungefähr 0.1^{mm} über das äussere Quecksilber-niveau emporgehobene Meniscus beobachtet werden, so dass das Gas innerhalb der Diffusionsröhre ein klein wenig verdünnter war als ausserhalb. Die Druckdifferenz wirkte also in dem Sinne, dass dadurch das nach der Diffusion zurückbleibende Gasvolumen etwas zu gross gefunden werden musste. Der Versuch wurde daher mit der Abänderung wiederholt, dass der Meniscus in der Diffusionsröhre mit einer kleinen Papierkappe bedeckt war, deren Oberfläche bei der kathetometrischen Able-sung mit der äusseren Quecksilberoberfläche im Niveau gehalten wurde. Man bewirkte dadurch, dass der innere Druck den äusseren während der ganzen Dauer der beobachteten Diffusion etwas überwog. Allein auch unter diesen Umständen wurde das Verhältniss der ausgetauschten Gase stets unterhalb des von der bisherigen Theorie geforderten Werthes 3.995 beobachtet.

3. Versuch. Es wurde nun versucht, die bei den vorigen Versuchen unvermeidlichen Fehlerquellen, durch Anwendung von Wasser, als einer specifisch leichteren Sperrflüssigkeit, und durch Vergrösserung der Dimensionen des Gypsdiaphragmas und der ganzen Diffusiometer-röhre auf ein Minimum herabzudrücken. Die Diffusio-meterröhre hatte eine Länge von etwa 2 Fuss und einen inneren Durchmesser von fast 1 Zoll. Sie war mit Wasserstoff gefüllt, welcher frei in atmosphärische Luft diffundirte. Die kathetometrische Ablesung geschah in der Weise, dass der innere und äussere Hohlmeniscus des nicht ausgekochten Sperrwassers so viel als möglich im Alignement gehalten wurden und die unvermeidlichen Niveaudifferenzen beider die Höhe eines Millimeters nicht überstiegen. Das mit Luft gefüllte Instrument wurde zunächst auf eine Druckdifferenz von 15^{mm} eingestellt und

die Zeit beobachtet, während welcher 5 Vol. Luft einge-
drungen waren. Diese Zeit betrug 12.5 Minuten. Für
eine Differenz von 1^{mm} Wasserdruck beträgt daher der
durch Lufteinpressung bewirkte Fehler 1 Vol. in 37.5 Mi-
nuten.

Bei einem solchen mit aller Sorgfalt ausgeführten
Diffusionsversuche von Wasserstoff in Luft betrug das
Anfangsvolumen Wasserstoff 645. Nach 21 Secunden war
es 635, nach den nächsten 21 Secunden 625, nach den
dann folgenden 26 Secunden 615, nach 32' 7" und den
folgenden Zeiten betrug es:

Zeit	Volumen
32' 7"	225
33' 27"	220
35' 10"	215
37' 8"	210
39' 53"	205
43' 41"	200
49' 52"	195
62' 25"	193
74' 44"	193
114' 10"	194
151' 0"	195

Die letzten vier Beobachtungen wurden so angestellt,
dass das innere Wasserniveau 1^{mm} höher stand als das
äussere. Die Versuche lassen deutlich erkennen, dass
bei der drittletzten Beobachtung die Diffusion bereits ver-
schwindend klein geworden war; denn die beiden letzten
Beobachtungen zeigen schon eine Volumenzunahme von
1 für 1^{mm} Druckdifferenz in 39 bis 37 Minuten, welche
dem obigen Versuche zufolge stattfinden muss, wenn die
Druckdifferenz allein ohne Diffusion wirkt. Nimmt man
daher an, dass bei dem Volumen 193 die Diffusion schon

unendlich klein geworden ist, so ergibt sich für das Verhältniss der ausgetauschten Gasvolumina $\frac{645}{193} = 3.34$, welches ebenfalls von dem der bisherigen Theorie entsprechenden Werthe $\frac{1}{\sqrt{0.06926}} = 3.80$ sehr erheblich abweicht.

Nach diesen Ergebnissen muss es als unzweifelhaft betrachtet werden, dass der beobachtete Austausch zweier Gase keineswegs genau in dem umgekehrten Quadratwurzelverhältniss der respectiven specifischen Gewichte erfolgt.

Es bleibt daher noch zu untersuchen übrig, welches das wahre Verhältniss der bei der Diffusion ausgetauschten Volumina ist und wie weit dasselbe überhaupt während der Diffusion constant bleibt. Diese Fragen lassen sich auf experimentalem Wege entscheiden, wenn man die Zusammensetzung des in der Diffusionsröhre enthaltenen Gases für einzelne Perioden der Diffusion bestimmt. Zu diesem Zwecke wurde folgender Diffusionsversuch mit Wasserstoff und einem rasch über das Gypsdiaphragma hinweggeleiteten Sauerstoffstrome angestellt.

Nummer der Ablesung.	Gasvolumen in der Diffusionsröhre.	Zeit in Minuten.
1	385.2	?
2	381.2	?
3	376.2	?
4	371.2	?
5	366.2	12.98
6	361.2	16.38
7	356.2	19.96
8	351.2	23.55
9	346.2	27.25
10	341.2	30.95
11	336.2	34.71

Nummer der Ablesung.	Gasvolumen in der Diffusionsröhre.	Zeit in Minuten.
12	331.3	38.70
13	326.3	42.16
14	321.4	46.16
15	316.5	50.25
Gas ausgelassen.		
16	192.3	0.00
17	184.2	7.40
18	179.4	11.72
19	174.6	16.05
20	169.8	20.53
21	164.9	25.25
22	160.1	30.18
23	155.3	35.22
24	150.6	40.48
25	145.8	46.20

Gas ausgelassen.

In dem Augenblicke, wo die funfzehnte Ablesung vollführt war, wurde das Diffusionsrohr verschlossen und eine Gasprobe geschöpft, welche folgende Zusammensetzung zeigte:

	Vol.	Druck.	Temp. C.	Vol. bei 0° und 1 ^m Druck.
Angewandtes Gas . .	187.9	0.4180	— 2.2	79.18
Nach der Explosion . .	149.3	0.3806	— 2.2	57.28

I.

Wasserstoff . . .	71.88
Sauerstoff . . .	7.30
	79.18

Das 316.5 Vol. betragende Gasvolumen der funfzehnten Ablesung enthielt daher 29.18 Sauerstoff und 287.32 Wasserstoff. Das nur aus Wasserstoff bestehende An-

fangsvolumen vor der Diffusion war 385.2. Auf 29.13 eingetretenen Sauerstoff waren daher $385.2 - 287.32 = 97.88$ Vol. Wasserstoff ausgetreten. Das Verhältniss der bis zur funfzehnten Beobachtung ausgetauschten Gasvolumina war daher $\frac{97.88}{29.18} = 3.354$, also sehr abweichend von dem Werthe 3.995, welchen die bisher als richtig angenommene Theorie fordert, dagegen fast genau übereinstimmend mit dem Resultate, welches der über Wasser angestellte Versuch ergab.

Um zu sehen, ob dies Verhältniss des Austausches bei einer längeren Dauer der Diffusion constant bleibt, wurde das in der Diffusionsröhre noch übrige Gasvolumen wieder genau gemessen, die Diffusion noch länger fortgesetzt und bei der fünfundzwanzigsten Ablesung abermals eine Gasprobe genommen. Die Analyse derselben gab:

	Vol.	Druck.	Temp. C.	Vol. bei 0° und 1 ^m Druck.
Angewandtes Gas . .	129.5	0.3615	— 1.4	47.06
Nach der Explosion . .	38.5	0.2736	— 1.6	10.60

II.

Wasserstoff . . . 34.91

Sauerstoff . . . 12.15

47.06

Das bei der sechszehnten Beobachtung abgelesene Gasvolumen betrug 192.3 und bestand, der Analyse I. zufolge, aus 174.57 Wasserstoff und 17.73 Sauerstoff. Der 46.2 Minuten später angestellten fünfundzwanzigsten Beobachtung entsprach das Volumen 145.8. Der Analyse II. zufolge enthielt dies Volumen 108.16 Wasserstoff und 37.64 Sauerstoff. Während der 46.2 Minuten dauernden Diffusion waren daher $174.57 - 108.16 = 66.41$ Wasser-

stoff ausgetreten und $37.64 - 17.73 = 19.91$ Sauerstoff eingedrungen. Das Verhältniss der während dieser zweiten Periode der Diffusion ausgetauschten Gasvolumina war daher $\frac{66.41}{19.91} = 3.336$, also wieder fast genau mit der für die erste Periode gefundenen Zahl übereinstimmend. Aus diesen Versuchen lässt sich daher der Schluss ziehen, dass sich die einströmende Sauerstoffmenge zu der ausströmenden Wasserstoffmenge wie $1 : 3.345$ verhält, und dass dies Verhältniss während der untersuchten Dauer der Diffusion constant bleibt.

Nachdem wir diese Thatsache festgestellt und bereits oben gezeigt haben, dass innerhalb gewisser Grenzen die Geschwindigkeit, mit der eine Gasart ein poröses Diaphragma durchströmt, proportional ist

- 1) der Druckdifferenz des Gases oberhalb und unterhalb des Diaphragmas, und
- 2) einem Reibungscoefficienten, der von der Natur des Gases und des Diaphragmas abhängt,

wollen wir nun weiter zeigen, wie die Erscheinungen der Gasdiffusion lediglich darauf beruhen, dass diese Sätze innerhalb ähnlicher Grenzen auch in Beziehung auf partiäre Pressungen gemischter Gase gültig sind. Um diese Thatsache zu erweisen, wurde bei constant erhaltenem Druck die Volumenveränderung gemessen, welche ein trockenes Wasserstoffvolumen in einer Diffusionsröhre erleidet, über deren Diaphragma ein trockener Sauerstoffstrom fortgeleitet wird, indem man die während dieser Volumenveränderung verfliessende Zeit beobachtet. Es befinde sich in der Diffusionsröhre ursprünglich ein Wasserstoffvolumen H_0 unter dem Drucke 1; ausserhalb der Diffusionsröhre stehe eine unendlich grosse oder fort-

während erneuerte Atmosphäre von Sauerstoff unter demselben Drucke, und es sei nach Verlauf der Zeit t von diesem Gase in die Diffusionsröhre das Volumen S eingedrungen, während das ursprüngliche Wasserstoffvolumen bis zu H abgenommen haben möge, so dass $H_0 - H$ das unter dem Drucke 1 gemessene Volumen des ausgetretenen Wasserstoffs angiebt, während $H + S$ das von dem Gemenge beider erfüllte Volumen Gas ist. Da sich nun die Sauerstoffmenge S durch den Raum $H + S$ ausdehnt, so wird in der Diffusionsröhre der Druck des Sauerstoffs durch $\frac{S}{H + S}$ gemessen; daher ist die dem Sauerstoff diesseits und jenseits des Diaphragmas zukommende Druckdifferenz $1 - \frac{S}{H + S} = \frac{H}{H + S}$ und wir werden für die im nächsten Zeitdifferenzial dt eindringende Sauerstoffmenge zu setzen haben

$$(1) \quad dS = \frac{H}{H + S} a_1 dt,$$

wobei a_1 den nur durch den Versuch zu ermittelnden Reibungscoefficienten für Wasserstoff im Gypsdiaphragma bedeutet. Andererseits hat sich aber auch die in dem Gasgemenge $H + S$ vorhandene Quantität Wasserstoff H durch den ganzen Raum ausgedehnt. Es giebt also $\frac{H}{H + S}$ den Druck an, welchen wir uns in Beziehung auf die Ausflussgeschwindigkeit des Wasserstoffs als die wirkende Kraft zu denken haben. Und da der Diffusionsapparat so eingerichtet war, dass der in jedem Augenblicke austretende Wasserstoff sogleich fortgeführt wurde, so dass also dem partiaren Drucke $\frac{H}{H + S}$ kein anderer partiarer Druck entgegenstand, so haben wir, mit Rücksicht

darauf, dass das Volumen H mit dem Wachsen von t abnimmt:

$$(2) \quad dH = - \frac{H}{H + S} a_2 dt,$$

wobei a_2 wieder einen von der Beschaffenheit des Gases und Diaphragmas abhängigen Coëfficienten bezeichnet.

Die nächste Folgerung, die sich bei dem ersten Anblick dieser Gleichungen (1) und (2) darbietet, besteht in dem constanten Verhältniss, welches während der ganzen Dauer der Diffusion zwischen der jeden Augenblick eintretenden Sauerstoffmenge dS und der in demselben Augenblicke austretenden Quantität Wasserstoffgas $-dH$ stattfindet und welches durch $\frac{a_1}{a_2} = \gamma$ ausgedrückt wird.

Um die Richtigkeit dieser zur Erklärung der Diffusionserscheinungen angenommenen Fundamentalbedingungen an der Erfahrung zu prüfen, müssen wir darauf ausgehen, die nach irgend einer endlichen Zeit t diffundirten Gasmengen sowie das wirklich beobachtete Gasvolumen in der Diffusionsröhre $H + S = V$ als Function der Zeit zu bestimmen. Aus den Gleichungen (1) und (2) folgt zunächst $\frac{dS}{a_1} + \frac{dH}{a_2} = 0$, also durch Integration $\frac{S}{a_1} + \frac{H}{a_2} = \text{const.}$

Da nun das ursprünglich vom Wasserstoff eingenommene Volumen der Diffusionsröhre $= H_0$ und am Anfange der Diffusion $S = 0$ war, so erhält die unbekannte Constante der vorigen Gleichung den Werth $\frac{H_0}{a_2}$ und es

wird $\gamma = \frac{a_1}{a_2} = \frac{S}{H_0 - H}$. Durch Substitution des Werthes $S = \gamma (H_0 - H)$ in die Gleichung (2) erhalten wir nun

$$dH = - \frac{a_2 H}{\gamma H_0 + (1 + \gamma) H} dt,$$

also

$$- a_2 dt = (1 - \gamma) dH + \gamma H_0 \frac{dH}{H}$$

und hiervon ist das Integral, da die Werthe $t = 0$ und $H = H_0$ zusammengehören,

$$a_2 t = (1 - \gamma) (H_0 - H) + \gamma H_0 \log. \left(\frac{H_0}{H} \right).$$

Da nun $H = \frac{V - \gamma H_0}{1 - \gamma}$, so erhält man durch Substitution dieses Werthes von H :

$$(3) \quad a_2 t = H_0 - V + \gamma H_0 \log. \left(\frac{H_0 - \gamma H_0}{V - \gamma H_0} \right).$$

Nennt man die zu den Zeiten $t, t_1, \dots, t_n$ beobachteten Gasvolumina der Diffusionsröhre $V, V_1, \dots, V_n$, so ergibt sich ferner

$$(4) \quad a_2 (t_1 - t) = V - V_1 + \gamma H_0 \log. \left(\frac{V - \gamma H_0}{V_1 - \gamma H_0} \right).$$

Diese Gleichung (4) eignet sich am besten, um die Richtigkeit der im Vorstehenden entwickelten Diffusionstheorie an directen Beobachtungen zu prüfen. Man berechnet aus den beobachteten Grössen einer Versuchsreihe, d. h. aus den Ablesungen $V, V_1, V_n, \dots$ und den zugehörigen Zeiten $t, t_1, t_n, \dots$ die entsprechenden Werthe von a_2 , substituirt das Mittel derselben in die Gleichung und berechnet die während der Volumenänderungen $V_n - V_{n+1}$ verflossenen Zeiten $t_n - t_{n+1}$. Weichen diese berechneten Werthe von den beobachteten nicht mehr ab, als es nach den unvermeidlichen Beobachtungsfehlern zu erwarten steht, so liegt in dieser Uebereinstimmung der Beweis für die Richtigkeit der Gleichung und mithin auch für die Richtigkeit der Theorie, aus welcher dieselbe hergeleitet ist.

Um die Beobachtungen unter möglichst günstigen Umständen zu erhalten, wurden Wasserstoff und Sauerstoff, also zwei Gase zu den Versuchen benutzt, deren Diffusionsgeschwindigkeiten möglichst weit von einander abstehen. Bei der Messung des trockenen Wasserstoffs in der Diffusionsröhre wurde auf das im Gypsdiaphragma enthaltene Gas Rücksicht genommen und dabei Sorge getragen, dass das über dem Diaphragma fortströmende Sauerstoffgas gehörig trocken war. Für γ wurde 0.2989 als Mittelwerth aus den Seite 229 und 230 durch directe Analyse gefundenen Zahlen $\frac{1}{3.354}$ und $\frac{1}{3.336}$ angenommen.

Die ersten Beobachtungen sind von der Berechnung ausgeschlossen worden, weil sie mit einem Beobachtungsfehler behaftet sind, der weder vermieden noch in Rechnung gebracht werden kann. Das Gypsdiaphragma ist nämlich in dem Augenblicke, wo der Versuch anfängt, völlig mit Wasserstoff erfüllt. Die Diffusion beginnt daher an der dem Sauerstoffstrome zugekehrten Fläche desselben. Dies muss nothwendiger Weise zur Folge haben, dass die Diffusionserscheinungen zu Anfang nur auf das Innere der Gypsmasse beschränkt sind und das eintretende Sauerstoffvolumen erst nach und nach bis zu der dem Wasserstoff zugekehrten Fläche des Gypsdiaphragmas vordringt. In der Zeit, während welcher die Diffusion sich auf den Hohlraum des Gypses beschränkt, ist daher gar keine Volumenänderung im Diffusionsrohre wahrzunehmen, und es erklärt sich daraus die auf den ersten Blick auffallende Erscheinung, dass nach dem Oeffnen der Diffusionsröhre immer erst einige Augenblicke vergehen, ehe die erste sichtbare Volumenänderung eintritt. Die Beobachtungen müssen daher anfangs in Beziehung auf die Zeitmessung ein fehlerhaftes Resultat geben und wer-

den erst dann brauchbar, wenn das Gypsdiaaphragma gleichmässig von dem ein- und ausströmenden Gase durchdrungen ist, was bei dem Versuche erst ungefähr nach 48 Secunden der Fall gewesen zu sein scheint.

Ebenso müssen aus einem anderen Grunde die letzten Beobachtungen verworfen werden. Fängt der partiare Druck des Wasserstoffs gegen das Ende der Diffusion an so weit abzunehmen, dass die bei der Beobachtung nöthige kleine Druckdifferenz innerhalb und ausserhalb der Diffusionsröhre nicht mehr verschwindend klein gegen den partiaren Druck ist, so werden die Beobachtungen, wie wir oben gezeigt haben, ebenfalls unsicher. Ausserdem addirt sich während der ganzen Dauer des Versuchs fortwährend eine kleine Menge Sauerstoff in Folge der kleinen Differenz des inneren und äusseren Druckes zu dem durch Diffusion eintretenden Sauerstoff, wodurch die Diffusion vorzugsweise gegen Ende des Versuchs in einem viel grösseren Verhältniss verlangsamt wird, als es ohne diesen Fehler der Fall sein würde. Begreiflicher Weise muss diese Unsicherheit aber auch zum Theil noch daher rühren, dass die Proportionalität der partiaren Druckdifferenzen mit der respectiven Ausströmungsgeschwindigkeit der diffundirenden Gase nur innerhalb gewisser Grenzen in aller Schärfe stattfindet.

Die folgenden beiden Tabellen geben die Resultate zweier solcher mit dem Diffusiometer angestellten Beobachtungsreihen. Die erste Columne enthält die Nummer der Ablesung, die zweite das abgelesene, nach der Röhrenkalibrirung und dem Hohlraum des Diaphragmas corrigirte Gasvolumen, die dritte die bei diesen Ablesungen verflossene Zeit in Sexagesimalsecunden, die vierte die aus den einzelnen Beobachtungen berechneten Werthe von a_2 , die fünfte die beobachteten, zwischen je zwei Volu-

menablesungen verflossene Zeit, und die sechste endlich dieselbe Zeit, aus dem Mittelwerthe von a_2 berechnet.

Nummer der Beob- achtung.	Beobachte- tes Volumen V .	Entspre- chende Zeit in Secunden t .	a_2	Beobachtete $t_n - t_{n+1}$.	Berechnete $t_n - t_{n+1}$ $a_2 = 0.4969$.	Differenz.
1	183.5	0.0				
2	178.5	8.0				
3	173.6	20.5				
4	168.5	34.0				
5	163.5	48.0				
6	158.6	62.0	0.5140	15.0	15.5	+ 0.5
7	153.6	77.0	0.5340	15.0	16.1	+ 1.1
8	148.5	92.0	0.4994	16.0	16.1	+ 0.1
9	143.5	108.0	0.5038	16.0	16.2	+ 0.2
10	138.5	124.0	0.5230	16.0	16.9	+ 0.9
11	133.5	140.0	0.4878	18.0	17.7	- 0.3
12	128.4	158.0	0.4922	18.0	17.8	- 0.2
13	123.4	176.0	0.5500	17.0	18.8	+ 1.8
14	118.3	193.0	0.4529	21.0	19.1	- 1.9
15	113.3	214.0	0.4725	20.0	19.0	- 1.0
16	108.4	234.0	0.4818	22.0	21.3	- 0.7
17	103.3	256.0	0.4778	23.0	22.1	- 0.9
18	98.3	279.0	0.5095	23.0	23.6	+ 0.6
19	93.3	302.0	0.4765	26.0	24.9	- 1.1
20	88.4	328.0	0.4779	29.0	27.9	- 1.1
21	83.4	357.0				
22	78.4	391.0				
23	73.4	428.0				
24	68.3	474.0				
25	63.2	553.0				
26	58.2	636.0				

Nummer der Beob- achtung.	Beobachte- tes Volumen V .	Entspre- chende Zeit in Sekunden t .	a_2	Beobachtete $t_n - t_{n+1}$.	Berechnete $t_n - t_{n+1}$ $a_2 = 0.6310$.	Differenz.
1	213.6	0				
2	208.6	10				
3	203.6	20				
4	198.6	31				
5	193.6	41				
6	188.6	52	0.6347	12	12.1	+ 0.1
7	183.6	64	0.7165	11	12.5	+ 1.5
8	178.5	75	0.6421	12	12.2	+ 0.2
9	173.5	87	0.6653	12	12.7	+ 0.7
10	168.5	99	0.6775	12	12.9	+ 0.9
11	163.5	111	0.6310	13	13.0	0.0
12	158.6	124	0.6047	14	13.4	- 0.6
13	153.6	138	0.6800	13	14.0	+ 1.0
14	148.5	151	0.6353	14	14.1	+ 0.1
15	143.5	165	0.6532	14	14.5	+ 0.5
16	138.5	179	0.6016	16	15.3	- 0.7
17	133.4	195	0.6514	15	15.5	+ 0.5
18	128.4	210	0.6346	17	16.1	- 0.9
19	123.4	227	0.6368	17	17.2	+ 0.2
20	118.3	244	0.6198	18	17.7	- 0.3
21	113.8	262	0.5440	21	18.1	- 2.9
22	108.4	283	0.6131	21	20.4	- 0.6
23	103.3	304	0.5693	24	21.7	- 2.3
24	98.3	328	0.5793	26	23.9	- 2.1
25	93.3	354	0.6345			
26	88.4	384				
27	83.4	420				
28	78.4	463				
29	73.3	524				
30	68.3	636				

Man sieht, dass die Uebereinstimmung der Beobachtungen mit der Theorie so gross ist, als sich in Beziehung auf die möglichen Beobachtungsfehler nur immer erwarten lässt. Sie würde noch grösser ausgefallen sein, wenn die Diffusion weniger schnell vor sich gegangen wäre. Die Theorie setzt nämlich voraus, dass das in die Diffusionsröhre eindringende Gas sich in den ganzen Raum derselben mit einer solchen Geschwindigkeit verbreitet, dass die Geschwindigkeit der das Diaphragma durchströmenden Gase als verschwindend klein dagegen angesehen werden kann. Dies ist natürlich, streng genommen, niemals ganz der Fall.

Man kann sich aber dieser von der Theorie geforderten Bedingung hinlänglich nähern, wenn man die Geschwindigkeit, mit der die Gase das Diaphragma durchströmen, möglichst verringert und ein nicht zu grosses Gasvolumen in der Diffusionsröhre anwendet. Diese Verzögerung wurde bei dem folgenden Versuche, aus dem oben bereits die Grösse γ abgeleitet worden, dadurch bewerkstelligt, dass das angewandte Gypsdaphragma von geringem Querschnitt und sehr lang und dicht war.

Der erste Theil der Versuchsreihe wurde nach der Formel (3) berechnet. Zwischen dem ersten und zweiten Theile derselben wurde eine Gasprobe genommen, deren oben mitgetheilte Analyse (s. S. 229) ergibt, dass das Anfangsvolumen 192.3, mit dem die sechszehnte Beobachtung beginnt, aus 174.5 Wasserstoff und 17.8 Sauerstoff bestand. Die Formel zur Berechnung dieses zweiten Theiles der Beobachtungen ergibt sich aus folgenden Betrachtungen: Bezeichnet man mit S_0 die Sauerstoffmenge und mit H_0 die Wasserstoffmenge, welche in dem Anfangsvolumen der sechszehnten Beobachtung enthalten ist, und ferner die Mengen derselben Körper, die in dem

später beobachteten Volumen V enthalten sind, mit S und H , so hat man zunächst

$$\frac{H_0 - H}{S - S_0} = \frac{a_2}{a_1} = \gamma.$$

Ferner erhält man durch Substitution des Werthes $S = S_0 + \gamma (H_0 - H)$ in die frühere Gleichung (2):

$$dH = - \frac{a_2 H dt}{S_0 + \gamma H_0 + (1 - \gamma) H},$$

also

$$- a_2 dt = (1 - \gamma) dH + (S_0 + \gamma H_0) \frac{dH}{H},$$

und hiervon ist das Integral

$$a_2 t = (1 - \gamma) (H_0 - H) + (S_0 + \gamma H_0) \log. \left(\frac{H_0}{H} \right).$$

Führt man den Werth für

$$H = \frac{V - S_0 - \gamma H_0}{1 - \gamma}$$

in diese Gleichung ein, so entsteht

$$(5) \quad a_2 t = H_0 + S_0 - V + (S_0 + \gamma H_0) \log. \left(\frac{H_0 - \gamma H_0}{V - S_0 - \gamma H_0} \right),$$

nach welcher Formel in der folgenden Tabelle die letzten Beobachtungen von 16 bis 25 berechnet sind.

Nummer der Beob- achtung.	Beobachte- tes Volu- men.	Beobachtete Zeit in Minuten.	Berechnete Zeit in Minuten $a_2 = 0.20762$.	Differenz.	a_2 .
1	385.2	0			
2	?	?			
3	?	?			
4	?	?			
5	366.2	13.0	13.2	+ 0.2	0.2109
6	361.2	16.4	16.7	+ 0.3	0.2118
7	356.2	20.0	20.3	+ 0.3	0.2105
8	351.2	23.6	23.9	+ 0.3	0.2098
9	346.2	27.3	26.7	— 0.6	0.2033
10	341.2	31.0	31.1	+ 0.1	0.2081
11	336.2	34.7	34.7	0.0	0.2078
12	331.3	38.7	38.3	— 0.4	0.2056
13	326.3	42.2	42.0	— 0.2	0.2068
14	321.4	46.2	45.7	— 0.5	0.2054
15	316.5	50.3	49.4	— 0.9	0.2039

Unterbrochen, um die Gasprobe zu nehmen.

			$a_2 = 1.7669$		
16	192.3				
17	184.2	7.4	7.3	— 0.1	1.7434
18	179.4	11.7	11.7	0.0	1.7699
19	174.6	16.1	16.2	+ 0.1	1.7796
20	169.8	20.5	20.7	+ 0.2	1.7923
21	164.9	25.3	25.6	+ 0.3	1.7855
22	160.1	30.1	30.3	+ 0.2	1.7808
23	155.3	35.2	35.2	0.0	1.7682
24	150.6	40.5	40.1	— 0.4	1.7509
25	145.8	46.2	45.3	— 0.9	1.7317

Bei den früheren Versuchen betrug die Zeit, während welcher das Anfangsvolumen um 17.8 Procent abnahm, 1.4 Minuten, bei diesen letzteren dagegen für eine gleiche Volumenabnahme 36.2 Minuten.

Vergleicht man die Ergebnisse jener Beobachtungen bei rascher Diffusion mit diesen bei verlangsamter, so zeigt sich in der That bei letzterer eine noch viel grössere Uebereinstimmung.

Dabei ist indessen nicht ausser Acht zu lassen, dass sich bei dem zweiten Theile der letzteren Beobachtungen eine kleinere Zahl für a_2 ergibt, als bei dem ersten Theile derselben.

Dies zeigt, dass die Diffusionsgeschwindigkeiten nur annähernd den partiaren Druckdifferenzen proportional sind und dass, wie bei der durch totale Pressungen bewirkten Durchströmung von Gasen durch capillare Röhren, so auch bei der Diffusion über gewisse Grenzen hinaus Abweichungen von dieser Proportionalität eintreten.

Nach diesen theoretischen Betrachtungen können wir zu der wichtigen Anwendung übergehen, welche man von der Gasdiffusion bei gasometrischen Untersuchungen machen kann.

Es ist eine der schwierigsten Aufgaben, zu entscheiden, ob ein gegebenes Gas aus einem einzigen Gase oder aus einem Gemenge mehrerer besteht. Wenn die Volumina der Verbrennungsproducte in keinem einfachen Verhältniss zu einander stehen, kann zwar kein Zweifel darüber obwalten, dass es sich um ein Gemenge handelt, allein der umgekehrte Schluss von solchen einfachen Verhältnissen auf die ungemengte Beschaffenheit eines Gases ist völlig unzulässig, weil bei vielen chemischen Zersetzungen zwei oder mehrere Gase in einem einfachen

atomistischen Verhältnisse neben einander ausgeschieden werden können.

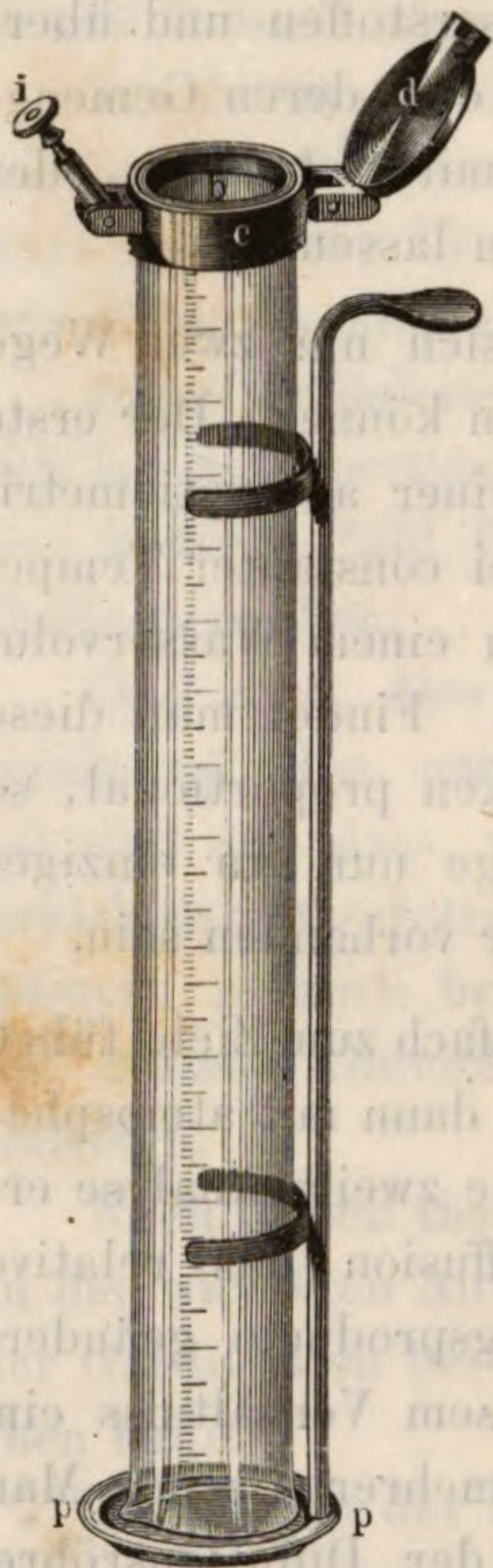
Diese Schwierigkeit bietet sich besonders bei Gemengen von Wasserstoff mit Kohlenwasserstoffen und überhaupt bei den vielen Gasmischungen dar, deren Gemengtheile sich nicht durch Absorptionsmittel trennen oder durch besondere Reagentien erkennen lassen.

In einem solchen Falle bieten sich nur zwei Wege dar, die zu einer Entscheidung führen können. Der erste besteht darin, dass man das Gas einer absorptiometrischen Prüfung unterwirft und die bei constanter Temperatur unter verschiedenem Druck von einem Wasservolumen absorbirte Gasmenge bestimmt. Findet man diese Gasmenge den entsprechenden Drucken proportional, so kann dem Absorptionsgesetze zufolge nur ein einziges Gas und nicht ein Gemenge mehrerer vorhanden sein.

Der zweite Weg, der eben so einfach zum Ziele führt, ist der, dass man das Gas analysirt, dann mit atmosphärischer Luft diffundirt und durch eine zweite Analyse ermittelt, ob sich in Folge der Diffusion das relative Volumenverhältniss der Verbrennungsproducte geändert hat. Tritt keine Aenderung in diesem Verhältniss ein, so kann das Gas kein Gemisch von mehreren sein. Man bedient sich zu diesen Versuchen der Diffusionsröhre, Fig. 58 (a. f. S.). Das mit einem 8 bis 10^{mm} dicken Gypsdiaphragma *b* verschlossene graduirte Rohr ist mit einer eisernen Fassung *c* versehen, deren eiserner, mit einer Kautschukplatte belegter Deckel *d* mittelst der Schraube *i* in der Art luftdicht auf die Fassung geschraubt werden kann, dass nur ein möglichst kleiner Raum zwischen der Kautschukplatte und der äusseren Oberfläche des Gypsdiaphragmas übrig bleibt.

Dieses mit dem Deckel verschlossene Gefäss wird über Quecksilber mit dem zu prüfenden Gase angefüllt

Fig. 58.



und mittelst des bestielten eisernen Löffels *pp* aus der Quecksilberwanne in einen mit Quecksilber gefüllten Glascylinder gebracht. Nachdem bei geöffnetem Deckel und bei gleich erhaltenem inneren und äusseren Quecksilberniveau die Diffusion eine Zeit lang vor sich gegangen ist, schliesst man den Deckel wieder, bringt die Röhre mittelst des Löffels in die Wanne zurück und füllt einen Theil des nun mit Luft gemischten Gases zur Analyse in das Eudiometer über.

Wir wählen, um die Anwendung der Diffusion bei der Gasanalyse an einem Beispiele zu zeigen, den durch Erhitzen von essigsauren Salzen mit einem Alkalihydrat erhaltenen Methylwasserstoff. Bereits oben wurde erwähnt, dass die Analyse allein keine Entscheidung darüber geben kann, ob das Gas aus einem Gemenge oder aus einer Verbindung gleicher Raumtheile Methyl und Wasserstoff besteht.

Der nachfolgende Diffusionsversuch zeigt in Uebereinstimmung mit den oben angeführten absorptiometrischen Bestimmungen, dass die zweite Alternative die richtige ist und dass mithin das Methyl in dem Gase nicht mit Wasserstoff gemengt, sondern damit chemisch verbunden ist.

Die Analyse des nicht diffundirten Gases gab:

	Vol.	Druck.	Temp. C.	Vol. bei 0° u. 1 ^m Dr.
Angewandtes Gas . . .	104.5	0.3123	5.7	32.0
Idem + Luft . . .	390.2	0.6009	5.7	229.7
„ + O . . .	429.0	0.6400	5.4	269.3
„ nach der Explosion	361.6	0.5711	5.4	202.5
„ — C . . .	323.1	0.5388	5.8	170.2
„ + H . . .	396.2	0.6136	5.7	238.1
„ nach der Explosion	350.1	0.5624	5.7	192.9

Brennbares Gas	verbr. Sauerstoff	geb. Kohlensäure
32.0	: 65.9	: 32.3
= 1	: 2.08	: 1.01

Grubengas für sich oder ein Gemenge gleicher Volumina Wasserstoff und Methyl würden beide das Verhältniss 1 : 2 : 1 haben geben müssen.

Dasselbe Gas wurde nun so lange mit atmosphärischer Luft durch Diffusion vermischt, bis dessen Volumen von 205 auf 170 verringert war.

Die Analyse des so erhaltenen Gases gab:

	Vol.	Druck.	Temp. C.	Vol. bei 0° u. 1 ^m Dr.
Angewandtes Gas . .	126.8	0.3444	4.5	42.96
+ Sauerstoff und Luft	280.6	0.4962	4.8	136.84
Nach der Explosion .	231.8	0.4473	4.8	101.90
Nach Absorption der C	201.8	0.4260	4.8	84.48
Nach Zulassung von H	510.0	0.7359	5.2	368.30
Nach der Explosion .	422.9	0.6375	5.2	264.57

Die Berechnung dieser Beobachtungen kann nicht nach der früher entwickelten Formel geschehen, da das Verhältniss der Gemengtheile der atmosphärischen Luft bei der Diffusion sich ändert. Man wählt daher einen anderen Weg.

Nennt man das Volumen des Methylgases x , des Wasserstoffgases y , des Sauerstoffs z und des Stickstoffs n , ferner A das angewandte Volumen $x + y + z + n$, C die bei der Verbrennung gebildete Kohlensäure, R den nach der Abscheidung der Kohlensäure durch Verbrennung mit Wasserstoff gefundenen Sauerstoffrückstand, und N das nach Absorption der Kohlensäure übrig bleibende Gemenge von Stickstoff und Sauerstoff, so ist

$$n = N - R$$

$$x = \frac{1}{2} C$$

$$z = \frac{A + 2R + 3C - n}{3}$$

$$y = A - (x + y + n).$$

Man hat daher für den Versuch $A = 136.84$, $C = 17.42$, $R = 34.58$ und $N = 84.48$, woraus sich ergibt:

Methyl . . .	8.71
Wasserstoff .	8.78
Sauerstoff . .	69.45
Stickstoff . .	49.90
	136.84

Bei einem Gemische von Methyl und Wasserstoff würde in dem Volumenverhältniss beider Gemengtheile durch Diffusion eine Aenderung haben eintreten müssen. Dass dieses nicht geschah, ist daher ein directer Beweis, dass kein Gemisch, sondern eine chemische Verbindung von Methyl und Wasserstoff, das heisst Grubengas, vorhanden war.

Sechster Abschnitt.

Verbrennungerscheinungen der Gase.

Wenn ein Gasstrahl in der Atmosphäre eines andern Gases verbrennt, so sind die Vorgänge in der dadurch erzeugten Flamme sehr complicirter Art, weil die Mengung der sich verbindenden Substanzen allmählig erfolgt und deshalb in jeder Schicht des Flammenkörpers eine andere ist. Um eine richtige Einsicht in das Wesen der Verbrennungerscheinungen zu erlangen, muss man von der einfacheren Betrachtung homogener Flammen ausgehen, welche bei der Entzündung gleichmässig gemengter Gasmischungen entstehen. Von diesen wird daher auch nur im Folgenden die Rede sein.

Eine der wichtigsten Beziehungen, welche bei der Verbrennung der Gase in Betracht kommen, ist

1) die Verbrennungswärme. Man bezeichnet mit diesem Ausdruck die Wärmemenge, welche bei der chemischen Verbindung eines Körpers frei wird. Dieselbe ist unabhängig von der Zeit, in welcher die Verbrennung vor sich geht, und hängt lediglich von der substantiellen Natur und der Masse der sich verbindenden Körper ab.

Man nimmt zur Messung derselben als Einheit (Wärmeeinheit) die Wärme an, welche erfordert wird, um einen Gewichtstheil Wasser von 0°C. auf 1°C. zu erhitzen, und misst mit dieser Einheit die von derselben Gewichtseinheit des sich verbindenden Stoffes entwickelte Wärme. So bedeutet z. B. die 2240 betragende Verbrennungswärme des Schwefels nichts Anderes, als dass bei der Verbrennung von einem Gewichtstheile Schwefel zu schwefeliger Säure so viel Wärme frei wird, dass dadurch 2240 Gewichtstheile Wasser von 0°C. auf 1°C. oder, was gleichbedeutend ist, ein Gewichtstheil Wasser von 0°C. auf 2240°C. erhitzt werden könnte, wenn die specifische Wärme des Wassers bei allen Temperaturen gleich der bei 0°C. und die Verdampfung vermieden wäre.

Wir verdanken Favre und Silbermann eine ausführliche, mit grosser Umsicht neuerdings ausgeführte Arbeit über die Verbrennungswärme, der wir, da sie ein grösseres Vertrauen verdient als die älteren über diesen Gegenstand vorhandenen Untersuchungen, die nachstehenden Angaben entnehmen:

		Verbrennungswärme.
Wasserstoff zu H	verbrennend	34462
Wasserstoff „ HCl	„	23783.3
Kohlenstoff aus Holz . . „ C	„	2474
Derselbe „ C	„	8080
Kohlenoxyd „ C	„	2403
Grubengas „ C und H	„	13063
Elayl „ C „ H	„	11858
Schwefel „ S	„	2240
Schwefelkohlenstoff . . „ S und C	„	3400
Schwefelwasserstoff . . „ S „ H	„	2741

Aus diesen Zahlen lässt sich die Verbrennungswärme eines Gasgemisches von bekannter Zusammensetzung berechnen. Bezeichnet man die Verbrennungswärme, welche den einzelnen Gemengtheilen zukommt, mit $w_0, w_1, \dots, w_n$, das Gewicht dieser Gemengtheile mit $g_0, g_1, \dots, g_n$, so ist die Verbrennungswärme W des Gemisches

$$W = \frac{w_0 g_0 + w_1 g_1 + \dots + w_n g_n}{g_0 + g_1 + \dots + g_n}.$$

Wir wählen als Beispiel einer solchen Berechnung der Verbrennungswärme ein brennbares Gasgemisch, welches aus dem Eisenhohofen von Veckerhagen in einer Tiefe von 2 Fuss unter der Kohlengicht geschöpft war.

	Zusammen- setzung dem Volume nach	Zusammen- setzung dem Gewichte nach	g	w	$w g$
Stickstoff	6078.0	7.6375		0.0	0.0
Kohlensäure	874.0	1.7188		0.0	0.0
Kohlenoxyd	2629.0	3.2902		2403.0	7906.3
Wasserstoff	196.0	0.0175		34462.0	603.0
Grubengas	223.0	0.1596		13063.0	2084.9
	<u>1000.0</u>	<u>12.8236</u>		$\frac{\Sigma w g}{\Sigma g} =$	$\frac{10594.2}{12.8236} W = 826.1$

Beträgt daher das Gewicht der in der Zeiteinheit aus der Gicht des Ofens entweichenden Gase G , deren Verbrennungswärme W , so ist das mit den unverbrannten Gasen in der Zeit t unbenutzt verlorene Wärmequantum $G W t$.

Da aus der Gicht des Veckerhagener Hohofens zur Zeit, als das Gasgemenge geschöpft wurde, durchschnittlich 12^{ko} Gichtgase von der angegebenen Zusammensetzung in der Minute hervordrangen, so beläuft sich

der dadurch bedingte Wärmeverlust in der Stunde auf $60 \times 826.1 \times 12 = 594792$ Wärmeeinheiten. Da ferner 1^{ko} verbrennende Kohle 1^{ko} Wasser auf 8080° erhitzt, so entspricht das mit den Gichtgasen verlorene Brennmaterial einem Kohlenquantum von $\frac{594792}{8080} = 73^{\text{ko}}6$ stündlich.

Die Berechnung des Gewichtes aus dem gegebenen Volumen einer Gasart, welche die eben ausgeführte Rechnung fordert, geschieht am besten mit Hülfe der Tabelle VIII. Die erste Horizontalspalte enthält das Volumen in Cubikcentimetern, die übrigen das diesem Volumen entsprechende Gewicht der im Eingange der Horizontalspalten bemerkten Gase in Grammen ausgedrückt. Hat man z. B. das Gewicht von 1407.3 Cubikcentimetern Kohlensäure zu bestimmen, so ergibt sich aus der Tabelle, dass

1000	Cubikcentimeter wiegen	1.96663	Grm.
400	„	0.78665	„
7	„	0.01376	„
0.3	„	0.00037	„
also 1407.3		2.76741	„

Von der Verbrennungswärme ist zunächst zu unterscheiden

2) die Verbrennungstemperatur. Sie ist die im Inneren eines verbrennenden Gemenges herrschende Temperatur und lässt sich aus der Verbrennungswärme ableiten, wenn die mit dem Wasser als Einheit verglichene specifische Wärme der Verbrennungsproducte bekannt ist. Die folgenden, zu dieser Ableitung nöthigen Werthe für die specifische Wärme der wichtigsten Gase sind Regnault's neuesten Bestimmungen entnommen.

Specifische Wärmen bei constantem Druck.

(Specifische Wärme des Wassers = 1.)

Sauerstoff	0.2182
Stickstoff	0.2440
Wasserstoff	3.4046
Chlor	0.1214
Kohlenoxyd	0.2479
Kohlensäure	0.2164
Schwefelwasserstoff	0.2423
Schwefelige Säure	0.1553
Chlorwasserstoff	0.1845
Elayl	0.3694
Grubengas	0.5929
Wasserdampf	0.4750
Luft	0.2370

Wiegen die Gemengtheile eines Gasgemisches vor der Verbrennung desselben $g_0, g_1, \dots, g_n$, und sind die diesen respectiven Gemengtheilen entsprechenden Verbrennungswärmen $w_0, w_1, \dots, w_n$, so ist, wie wir eben gezeigt haben, die Verbrennungswärme W des Gemisches

$$W = \frac{g_0 w_0 + g_1 w_1 + \dots + g_n w_n}{g_0 + g_1 + \dots + g_n},$$

das heisst, das Gemisch giebt so viel Wärme bei der Verbrennung, dass dadurch 1 Gewichtstheil Wasser auf $\frac{\sum g w}{\sum g} = W$ Grad erhitzt werden kann. Wäre das Verbren-

nungsproduct des Gases nur flüssiges Wasser, so würde daher dieses Wasser die Temperatur $\frac{\sum g w}{\sum g}$ besitzen. Nun

bestehen aber die gebildeten Verbrennungsproducte aus gasförmigen Stoffen, deren specifische Wärme eine vom Wasser verschiedene ist. Es wird sich daher die Tem-

peratur $\frac{\Sigma gw}{\Sigma g}$ zu der Temperatur dieser gasförmigen Verbrennungsproducte umgekehrt wie die specifische Wärme des Wassers zu der specifischen Wärme der Verbrennungsproducte verhalten oder (da die specifische Wärme des Wassers 1 ist) wie die Temperatur $\frac{\Sigma gw}{\Sigma g}$ dividirt durch die specifische Wärme der Verbrennungsproducte. Diese letztere ist aber leicht aus der Zusammensetzung der Verbrennungsproducte abzuleiten. Nennt man das Gewicht der darin enthaltenen Gemengtheile $p_0, p_1, \dots, p_n$, und die diesen Gemengtheilen entsprechenden specifischen Wärmen $s_0, s_1, \dots, s_n$, so erhält man für die mit S bezeichnete specifische Wärme der Verbrennungsproducte

$$S = \frac{p_0 s_0 + p_1 s_1 + \dots + p_n s_n}{p_0 + p_1 + \dots + p_n} = \frac{\Sigma p s}{\Sigma p},$$

und daher für deren Verbrennungstemperatur T :

$$T = \frac{\Sigma gw}{\Sigma g} \cdot \frac{\Sigma p}{\Sigma p s}$$

oder da das Gewicht des unverbrannten Gemisches Σg dem Gewichte des verbrannten Σp gleich ist:

$$T = \frac{\Sigma gw}{\Sigma p s}.$$

Die obigen 12^{ko} oder genauer $12^{\text{ko}}8236$ des dem Veckerhagener Ofen entströmenden Gases von der mitgetheilten Zusammensetzung erfordern z. B. zur vollständigen Verbrennung $2^{\text{ko}}65817$ Sauerstoff. Diese $2^{\text{ko}}65817$ entsprechen $11^{\text{ko}}46478$ atmosphärischer Luft, welche 8.80661 Stickstoff enthalten. Man hat daher für das mit dieser atmosphärischen Luft gemengte Gas vor und nach der Verbrennung:

Vor der Verbrennung:

	<i>g</i>	<i>w</i>	<i>wg</i>
Stickstoff . .	16.444	0	0
Kohlensäure . .	1.719	0	0
Sauerstoff . .	2.658	0	0
Kohlenoxyd . .	3.290	2403	7906.3
Wasserstoff . .	0.018	34462	603.0
Grubengas . .	0.160	13063	2084.9
$\Sigma g = 24.289 \quad \frac{\Sigma wg}{\Sigma g} = \frac{10594.2}{24.2884} = W = 436^{\circ}18.$			

Nach der Verbrennung:

	<i>p</i>	<i>s</i>	<i>ps</i>
Stickstoff . .	16.444	0.2440	4.0123
Kohlensäure . .	7.328	0.2164	1.5858
Wasserdampf . .	0.517	0.4750	0.2456
$\Sigma p = 24.289 \quad \frac{\Sigma ps}{\Sigma p} = \frac{5.8437}{24.289} = S = 0.2406.$			

Daraus folgt die Verbrennungstemperatur

$$\frac{\Sigma wg}{\Sigma ps} = \frac{W}{S} = 1812^{\circ}09 \text{ C.}$$

Die Rechnung gründet sich auf die Voraussetzung, dass sich die specifische Wärme der Gase nicht wie bei festen und flüssigen Körpern mit der Temperatur ändert, was durch Regnault's Versuche mit Luft innerhalb der Temperaturgrenze von -30° C. bis $+225^{\circ} \text{ C.}$ und von Clausius aus allgemeinen theoretischen Gründen nachgewiesen ist.

In der folgenden Tabelle sind die in der angegebenen Weise berechneten Verbrennungstemperaturen einiger Gase zusammengestellt.

Wasserstoff (mit Chlor verbrannt)	. .	3532° C.
Kohlenoxyd (mit Sauerstoff verbrannt)		7067° C.
Grubengas	„ „ „	7851° C.
Wasserstoff	„ „ „	8061° C.
Elayl	„ „ „	9187° C.
Kohlenoxyd (mit Luft verbrannt)	. .	3042° C.
Grubengas	„ „ „	5329° C.
Wasserstoff	„ „ „	3259° C.
Elayl	„ „ „	5413° C.

Diese Zahlen drücken die Temperaturen aus, welche die mit der gerade nöthigen Menge Chlor, Sauerstoff oder Luft gemengten Gase bei der Verbrennung besitzen, vorausgesetzt, dass sich die entzündeten Gase, wie es bei offen brennender Flamme der Fall ist, frei ausdehnen können. Geschieht hingegen die Verbrennung in einem geschlossenen Raume, also unter Umständen, wo nicht der Druck, sondern das Volumen der verbrennenden Gase constant bleibt, so wird die Verbrennungstemperatur eine ganz andere. Um sie zu berechnen, muss statt der specifischen Wärme bei constantem Druck die specifische Wärme bei constantem Volumen in die Formeln gesetzt werden. Nimmt man in Uebereinstimmung mit Dulong's Versuchen das Verhältniss der specifischen Wärme bei constantem Druck und bei constantem Volumen für Luft 1.421 an, so erhält man für ein beliebiges anderes Gas die specifische Wärme c bei constantem Volumen aus dessen specifischer Wärme bei constantem Druck c_1 , wenn das mit atmosphärischer Luft als Einheit verglichene specifische Gewicht des Gases gleich s ist, durch die Gleichung:

$$c = c_1 - \frac{0.070216}{s}.$$

Die specifischen Wärmen bei constantem Volumen und variablem Druck werden dann für die oben aufgeführten Gase:

Sauerstoff	0.1547
Stickstoff	0.1717
Wasserstoff	2.3910
Chlor	0.0928
Kohlenoxyd	0.1753
Kohlensäure	0.1702
Schwefelwasserstoff	0.1826
Schwefelige Säure	0.1236
Chlorwasserstoff	0.1288
Elayl	0.5204
Grubengas	0.2425
Wasserdampf	0.3621
Luft	0.1668

Mit Hülfe dieser Zahlen erhält man für die in verschlossenen Gefäßen mit Sauerstoff sowie mit Chlor verbrennenden Gase folgende Verbrennungstemperaturen:

Wasserstoff mit Chlor	5059° C.
Kohlenoxyd „ Sauerstoff	8986° C.
Grubengas „ „	10183° C.
Wasserstoff „ „	10575° C.
Elayl „ „	11853° C.

Von diesen Verbrennungstemperaturen hängt vorzugsweise ab

3) die Explosivität der Gase. Aus den Verbrennungstemperaturen und dem Volumen der bei der Verbrennung entstehenden Producte lässt sich ein Rückschluss auf die mechanischen Wirkungen machen, von denen die Verbrennung explosiver Gasgemische begleitet ist. Es genügt zu diesem Zwecke, die Volumenverände-

zung zu berechnen, welche ein Raumtheil des unverbrannten Gasgemisches in Folge der Verbrennung und der dabei eintretenden Erhitzung erleidet.

1 Vol. eines Gasgemenges von $\frac{2}{3}$ Vol. Kohlenoxydgas und $\frac{1}{3}$ Vol. Sauerstoff verbrennt z. B. zu $\frac{2}{3}$ Vol. Kohlensäure. Kann sich das Gas dabei nicht ausdehnen, so erhitzt es sich, der eben berechneten Verbrennungstemperatur zufolge, auf 8986° C. $\frac{2}{3}$ Vol. Kohlensäure nehmen aber bei 8986° C. den Raum $\frac{2}{3} (1 + 0.00366 \times 8986^{\circ}) = 22.59$ ein. Da sich das Gas nicht ausdehnen konnte, so sind diese 22.59 Volumina auf das Volumen 1 zusammengepresst. Befand sich daher das Anfangsvolumen vor der Verbrennung bei 0° und unter dem Drucke einer Atmosphäre, so musste es während der Verbrennung, dem Mariotte'schen Gesetze zufolge, einen Druck von 22.59 Atmosphären auf die es umschliessenden Wände ausüben.

In dieser Weise ist der Druck berechnet, welchen die nachstehenden, in dem zur vollständigen Verbrennung nöthigen Verhältniss gemischten Knallgasmenge auf die sie umgebenden Gefässwände ausüben, wenn sie bei 0° und unter dem Drucke einer Atmosphäre in verschlossenen Gefässen verbrannt werden.

1) Wasserstoff mit Chlor	. . .	19.5	Atmosphären
2) Kohlenoxyd „ Sauerstoff	. . .	22.6	„
3) Wasserstoff „ „	. . .	26.5	„
4) Grubengas „ „	. . .	38.3	„
5) Elayl „ „	. . .	44.4	„
6) Ditetryl „ „	. . .	88.8	„

Die Erfahrung lehrt in der That in Uebereinstimmung mit dieser Rechnung, dass man die Knallgasmenge 1) und 2) in ganz dünnwandigen Gefässen noch ohne Gefahr entzünden kann, dass 3) schon Gefässe von

grösserer Festigkeit erfordert, dass dagegen selbst enge, dickwandige Eudiometer noch durch 4) und 5) zerschmettert werden, und dass endlich kaum ein Eudiometer von solcher Wandstärke herzustellen ist, welches nicht durch entzündetes Ditetrylknallgas zerschmettert würde. Man begreift daraus leicht, wie nothwendig es ist, bei der gasometrischen Analyse die Gase, welche ihre Bestandtheile in bedeutenderen Condensationsverhältnissen enthalten, vor der Verbrennung mit einem indifferenten Gase zu verdünnen. Zerschmettert man dünnwandige, mit einem Tuch umhüllte Arzneiflaschen in der Hand, indem man die Gasgemische 1, 2, 3, 4, 5 und 6 darin abbrennt, so empfindet man bei 1) und 2) kaum einen Stoss, während die Erschütterung bei 3) und 4) schon sehr fühlbar und bei 5) und 6) fast unerträglich wird.

Man darf bei allen diesen Erscheinungen nicht ausser Acht lassen, dass der volle Druck eines entzündeten Gasgemisches nur selten vollständig zur Wirksamkeit kommt. Geht die Entzündung von einem Punkte aus, so braucht sie eine erhebliche Zeit, um sich durch die ganze Masse fortzupflanzen. Diese Zeit scheint von der chemischen Natur des verbrennenden Gemisches abzuhängen. Wenigstens lässt sich die Fortpflanzung der Verbrennung durch Kohlenoxydknallgas hindurch noch mit dem Auge verfolgen, während dies bei den übrigen angeführten Knallgasen nicht möglich ist.

Entzündet man eine Knallgassäule an ihrem oberen Ende, so langt die Verbrennung in dem unteren Ende erst dann an, wenn in dem oberen Ende eine erhebliche Wärmemenge durch Strahlung und Mittheilung bereits verloren gegangen ist. Ist das Knallgas mit einem indifferenten Gase bis nahe zur Entzündlichkeitsgrenze verdünnt, so sieht man oft an der Entzündungsstelle einen

begrenzten Feuerball entstehen, der sich langsam nach dem unteren Ende der Gassäule herabbewegt. In diesem Falle ist die Verbrennung in den oberen Theilen der Gassäule bereits beendet, wenn sie in den unteren noch vor sich geht. Die Explosivität eines Knallgases wird daher durch Beimengungen indifferenter Gase, nicht bloss dadurch vermindert, dass die Verbrennungstemperatur eine geringere wird, sondern auch noch dadurch, dass sich die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Verbrennung vermindert. Man sieht daraus, dass der volle Druck und also auch die heftigste Explosion nur dann eintreten kann, wenn die Entzündung durch die ganze Masse gleichzeitig oder nahezu gleichzeitig erfolgt. Diesem Umstande allein ist die sonderbare Erscheinung zuzuschreiben, dass dieselbe chlorige Säure, wenn sie einerseits durch Entzündung oder andererseits freiwillig explodirt, das eine Mal höchst geringe, das andere Mal beispiellos heftige mechanische Wirkungen ausübt, oder dass ein Gemisch von Wasserstoff und Chlor, durch Licht entzündet, ein Gefäss zu den feinsten Splittern zertrümmert, obwohl vorher dasselbe Gemisch in demselben Gefässe mittelst eines elektrischen Funkens ohne Gefahr abgebrannt werden konnte.

4) Entzündungstemperatur der Gase. Mischt man ein explosives Gas in einem grösseren Verhältniss mit einem unverbrennlichen, so gelangt man an eine Grenze, wo die Entzündlichkeit plötzlich aufhört. Diese Grenze ist so scharf, dass schon der kleinste Zusatz des unverbrennlichen Gases das noch vollständig verbrennliche Gemenge zu einem vollständig unverbrennlichen macht.

Ein solches unverbrennlich gewordenes Gas erlangt seine Verbrennlichkeit wieder, wenn es verhindert wird,

sich bei der Entzündung frei auszudehnen, oder wenn seine Temperatur eine höhere geworden ist. Die Grenze der Verdünnung, bei welcher die plötzliche Unverbrennlichkeit eintritt, hängt wesentlich von der substantiellen Natur des zur Verdünnung benutzten Gases ab.

Aus den nachstehenden Versuchen ist der Einfluss ersichtlich, welchen die Gegenwart von Sauerstoff, Wasserstoff oder Kohlensäure auf die Entzündlichkeitsgrenze des Sauerstoffknallgases ausübt *).

Nicht entzündliches Gemenge.

	Vol.	Druck.	Temp. C.	Vol. bei 0° u. 1 ^m Dr.
Anfängliches Volumen O	194.0	0.7111	6.3	137.81
Nach Zusatz von H . .	202.9	0.7203	5.7	146.15
Nach dem Durchschlagen des Funkens	203.5	0.7173	5.7	145.97

Entzündliches Gemenge.

Anfängliches Volumen O	191.0	0.7086	5.8	135.34
Nach Zusatz von H . .	201.7	0.7172	5.8	144.66
Nach dem Durchschlagen des Funkens	192.8	0.7000	5.8	134.96

Nicht entzündliches Gemenge.

Anfängliches Volumen H	189.2	0.7070	6	133.8
Nach Zusatz von O . .	200.0	0.7173	6	134.5

Entzündliches Gemenge.

Anfängliches Volumen H	188.2	0.7031	7	132.3
Nach Zusatz von O . .	200.4	0.7164	7	143.2

*) Sämmtliche Verbrennungen geschahen in einem geschlossenen Eudiometer, weshalb bei den späteren, auf diese Versuche bezüglichen Berechnungen stets die für Gase bei constantem Volumen geltenden specifischen Wärmen benutzt sind.

Nicht entzündliches Gemenge.

	Vol.	Druck.	Temp. C.	Vol. bei 0° u. 1 ^m Dr.
Anfängliches Volumen C	122.4	0.6780	5.7	81.29
Nach Zusatz von Knallgas	156.9	0.7128	5.7	109.39

Entzündliches Gemenge.

Anfängliches Volumen C	122.4	0.6780	5.7	81.29
Nach Zusatz von Knallgas	156.1	0.7191	5.3	110.12
Nach der Verbrennung .	123.9	0.6807	5.5	82.73

Es ist daher, diesen Versuchen zufolge:

I.

1 Vol. Knallgas mit	2.82 C	noch entzündlich
1 " " "	3.37 H	" "
1 " " "	9.35 O	" "

II.

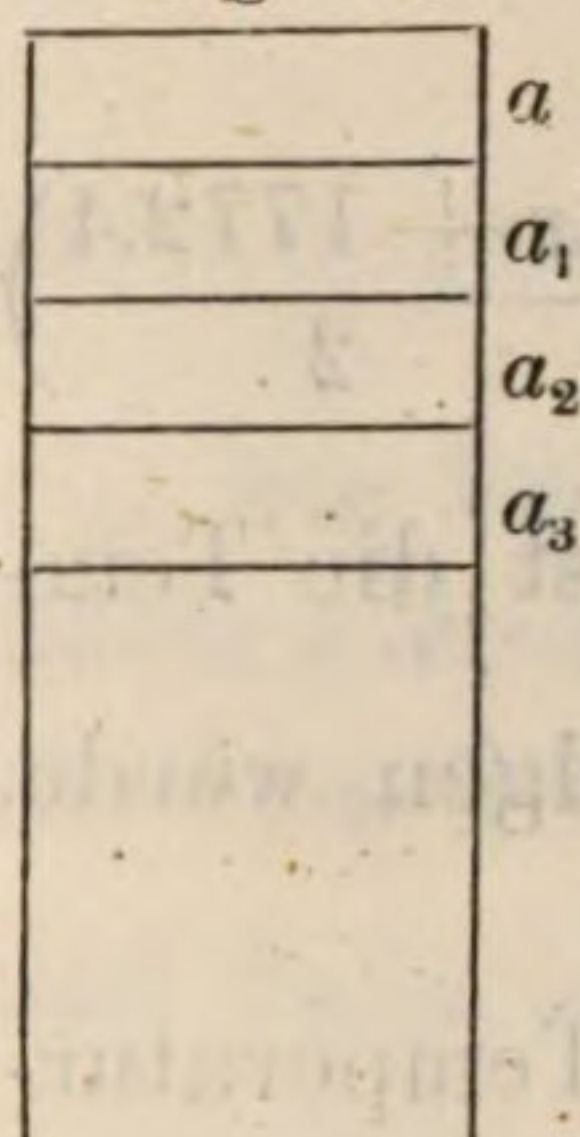
1 Vol. Knallgas mit	2.89 C	nicht mehr entzündlich
1 " " "	3.93 H	" " "
1 " " "	10.68 O	" " "

Die für das erste noch entzündliche Gemenge von 1 Vol. Knallgas auf 2.82 Vol. Kohlensäure berechnete Verbrennungstemperatur beträgt 1808°8 C., dieselbe für das zweite nicht mehr entzündliche Gemenge von 1 Vol. Knallgas mit 2.89 Vol. Kohlensäure berechnete Temperatur beträgt dagegen 1772°4 C.

Denken wir uns zunächst, um den Vorgang bei diesen Entzündungen zu verstehen, eine Säule des ersten Gasgemenges bei 0° in eine Anzahl gleich grosser, unendlich dünner Schichten a , a_1 , a_2 , . . . zerlegt, so wird bei der Entzündung dieser Gassäule, wenn wir zunächst von allen anderen physikalischen Beziehungen absehen, folgender Vorgang stattfinden.

Sobald die erste Schicht a durch irgend eine äussere Ursache auf die Entzündungstemperatur x erhitzt ist, erfolgt die Verbrennung, und mit ihr, in Folge

Fig. 59.



der Verbrennungswärme, eine Temperaturerhöhung der Schicht von x auf $x + 1808^{\circ}\text{C}$. Diese Temperatur muss sich der angrenzenden, unendlich kleinen, gleich grossen Schicht a_1 mittheilen, bis ein Gleichgewicht eingetreten ist und jede der beiden Schichten die Temperatur $\frac{x + 1808^{\circ}\text{C}}{2}$ angenommen hat.

Beide Schichten müssen aber durch Leitung, Ausstrahlung und durch die mit der Bildung der Verbrennungsproducte veränderte Wärmecapazität eine Temperaturerniedrigung erleiden, die $\frac{1}{n}$ der ganzen vorhandenen Temperatur beträgt. Die Temperaturen der Schichten a und a_1 werden daher

$$\left(1 - \frac{1}{n}\right) \left(\frac{x + 1808^{\circ}\text{C}}{2}\right).$$

Da diese Temperatur die Schicht a_1 noch entzündet, so muss dieselbe nothwendiger Weise so gross oder grösser als x sein.

Wiederholt man dieselbe Betrachtung für das zweite Gemenge von 1 Vol. Knallgas und 2.89 Kohlensäure, so ergiebt sich in ähnlicher Weise für die Temperatur der Schicht a_1 die Grösse $\left(1 - \frac{1}{n}\right) \left(\frac{x + 1772^{\circ}\text{C}}{2}\right)$. Da aber dieses Gemenge nicht mehr verbrennt, mithin auch die Schicht a_1 nicht mehr durch die vorhandene Temperatur entzündet wird, so muss $\left(1 - \frac{1}{n}\right) \left(\frac{x + 1772.4}{2}\right)$ kleiner als x sein. Die Differenz beider Temperaturen beträgt

$$\left(1 - \frac{1}{n}\right) \left(\frac{x + 1808.8}{2}\right) - \left(1 - \frac{1}{n}\right) \left(\frac{x + 1772.4}{2}\right) \\ = \left(1 - \frac{1}{n}\right) 18^{\circ}2.$$

Werden daher der Temperatur $\left(1 - \frac{1}{n}\right) \left(\frac{x + 1772.4}{2}\right)$ nur noch $\left(1 - \frac{1}{n}\right) 18^{\circ}2$ hinzugefügt, so ist die Temperatur x , bei welcher die Entzündung erfolgen würde, bereits erreicht oder schon überschritten.

Das Gemenge ist daher ohne diesen Temperaturzuwachs $\left(1 - \frac{1}{n}\right) 18^{\circ}2$ nicht mehr entzündlich, mit demselben aber entzündlich. Da dieser weniger als $18^{\circ}2$ betragende Temperaturunterschied gegen die mehr als 1000 Grad betragende Entzündungstemperatur x als verschwindend klein betrachtet werden kann, so lässt sich ohne merklichen Fehler annehmen, dass die Grenze der Entzündlichkeit, oder was in diesem Falle dasselbe ist, die Entzündungstemperatur bei

$$\left(1 - \frac{1}{n}\right) \left(\frac{x + 1772.4^{\circ}}{2}\right) + \frac{\left(1 - \frac{1}{n}\right) 18^{\circ}2}{2}$$

liegt. Man hat daher

$$x = \left(1 - \frac{1}{n}\right) \left(\frac{x + 1772.4 + 18.2}{2}\right)$$

oder

$$x = \left(1 - \frac{1}{n}\right) 1790^{\circ}6.$$

Wendet man dieselbe Rechnung auf die übrigen Versuche an, so findet man folgende Entzündungstemperaturen der untersuchten Gemenge:

Hieraus x immer kleiner, je größer $\frac{1}{n}$!

- 1) von Knallgas mit Wasserstoff $\left(1 - \frac{1}{n_0}\right) 2116^{\circ}8 = x$
- 2) „ „ „ Kohlensäure $\left(1 - \frac{1}{n_1}\right) 1790^{\circ}6 = x_1$
- 3) „ „ „ Sauerstoff $\left(1 - \frac{1}{n_2}\right) 857^{\circ}3 = x_2$

Die Verschiedenheit, welche diese Zahlen darbieten, können dreierlei Gründe haben. Entweder ist die Entzündungstemperatur x eine unveränderliche Grösse, und dann muss der Coëfficient des Wärmeverlustes $\frac{1}{n}$ je nach der Natur der beigemischten Gase veränderlich sein; oder der Coëfficient $\frac{1}{n}$ ist constant, und dann ist die Entzündungstemperatur in Folge der blossen Gegenwart nicht selbst an der Verbrennung theilnehmender Körper variabel; oder endlich drittens, es findet beides zugleich Statt.

Sehen wir nun, ob sich die Unterschiede der gefundenen Temperaturen nach der ersten Alternative erklären lassen, nach der Annahme also, dass die Entzündungstemperatur x einen unveränderlichen Werth habe. Setzt man $x = x_1 = x_2$, so muss, um den obigen Bedingungs-
gleichungen zu genügen,

$$\left(1 - \frac{1}{n_2}\right) > \left(1 - \frac{1}{n_1}\right) > \left(1 - \frac{1}{n_0}\right)$$

sein, und ebenso

$$\frac{1}{n_2} < \frac{1}{n_1} < \frac{1}{n_0}.$$

Der $\frac{1}{n}$ von der gesammten Temperaturerhöhung betragende, durch Strahlung, Leitung u. s. w. bewirkte Wärmeverlust müsste daher bei dem Sauerstoffgemenge 3) klei-

ner sein als bei dem Kohlensäuregemenge 2), und bei dem letzteren wieder kleiner als bei dem Wasserstoffgemenge 3). Sehen wir, ob dies in der That der Fall ist.

Die erste Ursache eines Temperaturverlustes bei der Verbrennung kann darin liegen, dass die specifische Wärme der die Verbrennungsproducte bereits enthaltenden entzündenden Schicht a eine andere ist als die specifische Wärme der zu entzündenden a_1 , welche diese Verbrennungsproducte noch nicht enthält. Die berechneten specifischen Wärmen der entzündeten und der zu entzündenden Schicht verhalten sich aber

bei dem Sauerstoffgemenge (3) wie 1 : 1.009,

„ „ Kohlensäuregemenge (2) „ 1 : 1.020,

„ „ Wasserstoffgemenge (1) „ 1 : 1.023.

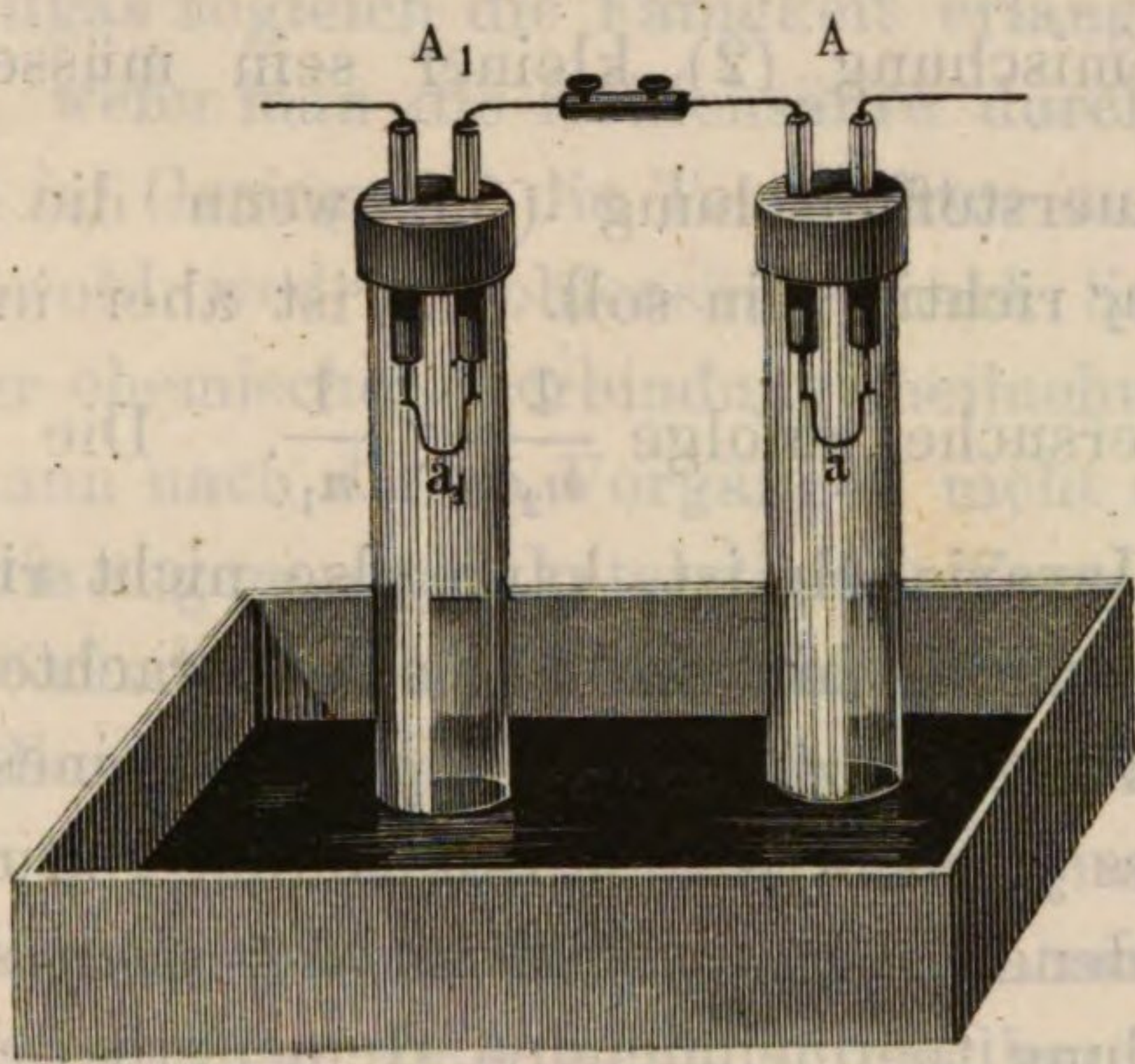
Diese Verhältnisse wachsen zwar in dem Sinne, wie es die Bedingung $\frac{1}{n_2} < \frac{1}{n_1} < \frac{1}{n_0}$ fordert, allein die Unterschiede der einzelnen Werthe sind so gering, dass ihr Einfluss auf die Temperaturen bei der Verbrennung als verschwindend klein und innerhalb der Beobachtungsfehler fallend angesehen werden kann. Die grossen Verschiedenheiten der beobachteten Entzündungstemperaturen können daher in diesen Verhältnissen der specifischen Wärme ihren Grund nicht haben.

Eine andere, bei Weitem gewichtigere Quelle ungleicher Abkühlung liegt in der Wärmeleitung und Strahlung. Wenn während der Wärmeausgleichung der Schichten a und a_1 die Strahlung und Leitung in einem Gasgemenge leichter von Statten geht als in einem anderen, so wird der Wärmeverlust in beiden nothwendiger Weise während der Verbrennung ein verschiedener sein. Da über die Durchstrahlungsfähigkeit und Wärmeleitung der

Gase keine Erfahrungen vorliegen, so habe ich die Frage durch einen directen Versuch zu entscheiden gesucht.

Es wurde zu diesem Zwecke ein allmählig verstärkter galvanischer Strom durch die zwei feinen, gleich langen und dicken Platindrähte a a_1 , Fig. 60, geleitet, deren

Fig. 60.



einer a mit Kohlensäure und deren zweiter a_1 mit Sauerstoff in den Glasglocken A A_1 umgeben war. Hatte die Stromstärke eine gewisse Höhe erreicht, so gerieth nur der erste Draht a ins Glühen, und erst nach noch weiter gesteigerter Stromstärke erglühte auch der von Sauerstoff umgebene a_1 , stets aber sichtbar schwächer als der andere. Wurde die Richtung des Stromes a oder der Gasinhalt der Glocken gewechselt, so trat das Glühen immer zuerst in der Kohlensäureatmosphäre ein. Da nun derselbe Strom in zwei Drähten von gleichen Dimensionen dieselbe Wärmemenge erzeugt und da die Wärmecapazität des Sauerstoffs und der Kohlensäure bei constantem Druck fast ganz gleich sind, so kann die stärkere Erhitzung des Drahtes in der Kohlensäureatmosphäre ihren

Grund nur darin haben, dass dieses Gas unter dem gemeinschaftlichen Einflusse der Leitung und Strahlung seine Wärme schwieriger abgibt als Sauerstoffgas.

Der bei der Verbrennung durch Leitung und Strahlung bedingte Wärmeverlust $\frac{1}{n_1}$ hätte daher bei der

Kohlensäuremischung (2) kleiner sein müssen als $\frac{1}{n_2}$

bei der Sauerstoffmischung (3), wenn die Gleichung $x = x_1 = x_2$ richtig sein soll. Es ist aber in Wirklich-

keit dem Versuche zufolge $\frac{1}{n_2} < \frac{1}{n_1}$. Die Annahme,

dass x eine Invariabele ist, kann also nicht richtig sein, und es lässt sich mithin als erwiesen betrachten,

dass die Entzündungstemperatur eines Gasgemisches je nach der substantiellen Natur der vorhandenen, nicht selbst an der chemischen Verbindung theilnehmenden Gemengtheile veränderlich ist.

Diese merkwürdige Thatsache nöthigt uns zu einer ganz bestimmten Vorstellung über die Wirkungsweise der Verwandtschaft. Denn wenn es diesen Versuchen und Betrachtungen zufolge feststeht, dass die Entzündungstemperatur oder der Punkt, wo die chemische Molecularanziehung bis zur Verbindungsfähigkeit gesteigert ist, nicht von der gegenseitigen Anziehung der sich verbindenden Theile allein, sondern zugleich auch von der Anziehung der ausserdem noch vorhandenen sich nicht verbindenden Theile abhängt, so sieht man sich gezwungen, anzunehmen, dass die chemische Verwandtschaft die Resultirende der Anziehungskräfte ist, welche von allen im Bereiche der chemischen Action vorhandenen Molekülen ausgeübt werden, mögen diese Moleküle an den

chemischen Verbindungen theilnehmen oder nicht. Denn nur unter dieser Voraussetzung sind die beobachteten Entzündungserscheinungen erklärlich.

Befindet sich das Gemenge von 1 Vol. Knallgas mit 2.85 Vol. Kohlensäure nahe unterhalb der Temperatur, bei welcher das Knallgas zu Wasser verbrennt, so wird dieses Knallgas sogleich die Fähigkeit erlangen, sich zu entzünden, wenn man die Kohlensäure durch Sauerstoff, ohne dabei im Geringsten die Temperatur zu verändern, ersetzt, obwohl weder Kohlensäure noch Sauerstoff an irgend einer chemischen Verbindung theilnehmen.

Man kann nach diesen Vorgängen nicht daran zweifeln, dass die sogenannten katalytischen Zersetzungen auf denselben Gründen beruhen, und dass sie, weit entfernt, etwas Auffallendes an sich zu tragen, nur einfache Aeusserungen der gewöhnlichen Verwandtschaft sind. Wie die in der Anziehungssphäre von Kohlensäureatomen bei einer gewissen Temperatur noch nicht verbindbaren Knallgas-moleküle bei derselben Temperatur unter sonst völlig gleichen Umständen in der Anziehungssphäre von Sauerstoffatomen verbindungsfähig werden, ebenso sind die Elemente des Wasserstoffsuperoxyds in der Anziehungssphäre von Wasseratomen, nicht aber in der Anziehungssphäre von Braunstein- oder Platinatomen verbindbar.

Und so kann eben so wenig der Umstand, dass eine kleine Menge Platin eine unbegrenzte Menge Wasserstoffsuperoxyd zu zersetzen vermag, irgend befremdend erscheinen. Denn wo ein Stück Platin Wasserstoffsuperoxyd berührt, schwächt es in der zunächst angrenzenden Schicht die Verwandtschaft so sehr, dass das Superoxyd in dieser Schicht und zwar nur in dieser zu Wasser und Sauerstoff zerfällt. Damit ist die chemische Wirkung des Platins erschöpft; erst wenn die gebildeten Zersetzungs-

producte durch fremde Kräfte, durch Schwere, durch Capillarität, durch Expansivkraft u. s. w. entfernt und durch diese fremden Kräfte andere Wasserstoffsuperoxydtheile an die Platinoberfläche gebracht sind, wiederholt sich der anfängliche Zersetzungsprocess.

Man sieht daher, dass die katalysirende Kraft, welche vom Braunstein oder Platin ausgeht, nicht eine unbegrenzte Arbeit leistet, sondern dass für die letztere eine äquivalente Arbeitsgrösse verschwindet, gerade wie bei der Hebung einer Last mit dem sinkenden Gewichte eine der geleisteten Arbeit äquivalente Arbeitsgrösse verbraucht wird.

Wir haben eben gezeigt, dass die Entzündungstemperatur zweier substantiell verschiedener Theilchen eines homogenen Gasgemisches von sämmtlichen in der Sphäre der wirkenden Anziehungen liegenden Molekülen mitbestimmt wird und sich daher ändert, wenn zu den vorhandenen Theilchen noch andere stofflich gleiche oder verschiedene hinzutreten. Dieser katalytische Einfluss, welchen die im Ueberschuss vorhandenen, an der Verbindung selbst keinen Antheil nehmenden Massentheilchen auf die sich verbindenden ausüben, giebt sich in einer noch auffallenderen Weise in den Massenverhältnissen der bei der Verbrennung gebildeten Producte zu erkennen und folgt einem eigenthümlichen Gesetze, das für die Aeusserungen der Verwandtschaft von fundamentaler Bedeutung zu sein scheint. Wenn nämlich die Theilchen *a* eines homogenen Gasgemisches die Wahl haben, sich mit den Theilchen *b* oder *c* zweier anderer im Ueberschuss vorhandener Gasgemengtheile zu verbinden, so stellt sich zwischen den Anziehungen sämmtlicher Theilchen ein solches Gleichgewicht her, dass die bei wirklich erfolgender Vereinigung von *a* mit *b* und *c* gebildeten Verbindun-

gen $(a + b)$ und $(a + c)$ selbst in einem einfachen Atomverhältniss zu einander stehen, welches von der Menge der unverbunden bleibenden Theilchen abhängt und mit der allmäligen Vermehrung derselben sich sprungweise ändert. Explodirt man z. B. ein Gasgemenge, welches auf je 30 At. O 30 At. H und 119 At. Kohlenoxyd enthält, so könnten, wenn man mit n alle ganzen Zahlen von 0 bis 30 bezeichnet, n At. Wasser und $30 - n$ At. Kohlensäure gebildet werden, also

entweder 30 At. H auf 0 At. C

oder 29 „ „ 1 „

„ 28 „ „ 2 „

„ 27 „ „ 3 „

.

.

.

„ 1 „ „ 29 „

„ 0 „ „ 30 „

Von diesen 31 denkbaren Fällen sind aber dem erwähnten Gesetze zufolge in der Wirklichkeit nur diejenigen möglich, bei welchen 1, 2 oder 3 Atome des einen Verbrennungsproductes sich neben 1, 2, 3, 4, . . . Atomen des anderen bilden. Für das Mengungsverhältniss des angeführten Gasgemisches entsteht auf je 1 At. Wasser 1 At. Kohlensäure. Vermindert man das vorhandene Kohlenoxydgas nach und nach, so springt das Atomverhältniss der Verbrennungsproducte, wenn der Kohlenoxydgehalt von 119 At. auf nahezu 86 At. allmählig herabgesunken ist, plötzlich von H : C auf H₂ : C über.

Zur Erläuterung des Gesetzes mögen folgende Analysen dienen, die mit Gemischen von elektrolytischem Knallgas mit Kohlenoxydgas angestellt sind.

Versuch 1.

	Vol.	Druck.	Temp. C.	Vol. bei 0° u. 1 ^m Dr.
Elektrolytisches Knallgas	42.7	0.6232	22.2	24.61
Nach Zusatz v. Kohlenoxyd	132.0	0.7350	22.2	89.73

Zur Verbrennung benutzt:

Angewandtes Gas . . .	145.8	0.7338	22.3	98.92
Nach der Verbrennung .	124.1	0.7318	22.4	83.93

Versuch 2.

Elektrolytisches Knallgas	123.6	0.3210	3.4	40.04
Nach Zusatz v. Kohlenoxyd	261.1	0.4527	3.3	116.79
Nach der Explosion . .	220.1	0.4130	3.0	89.99

Versuch 3.

Elektrolytisches Knallgas	57.6	0.6422	22.4	34.19
Nach Zusatz v. Kohlenoxyd	130.3	0.7085	22.5	85.32

Zur Verbrennung benutzt:

Angewandtes Gas . . .	119.5	0.7293	22.5	80.52
Nach der Verbrennung .	87.2	0.7293	22.5	58.76

Versuch 4.

Elektrolytisches Knallgas	120.4	0.3084	5.3	36.43
Nach Zusatz v. Kohlenoxyd	193.0	0.3806	4.7	72.21
Nach der Explosion . .	134.7	0.3308	3.8	43.94

Versuch 5.

Elektrolytisches Knallgas	104.0	0.6713	22.3	64.55
Nach Zusatz v. Kohlenoxyd	150.0	0.7358	22.5	101.98

Zur Verbrennung benutzt:

Angewandtes Gas . . .	113.4	0.7234	22.6	75.77
Nach der Verbrennung .	58.2	0.6667	22.7	35.81

Versuch 6.

	Vol.	Druck.	Temp. C.	Vol. bei 0° u. 1 ^m Dr.
Elektrolytisches Knallgas	121.3	0.3182	3.0	38.18
Nach Zusatz v. Kohlenoxyd	152.9	0.3523	2.6	53.36
Nach der Verbrennung .	67.2	0.2766	2.8	21.34

Versuch 7.

Elektrolytisches Knallgas	123.4	0.3229	2.4	39.58
Nach Zusatz v. Kohlenoxyd	147.4	0.3436	2.3	50.22
Nach der Explosion . .	61.3	0.2589	1.9	15.76

Versuch 8.

Elektrolytisches Knallgas	65.7	0.6321	22.7	38.35
Nach Zul. von Wasserstoff	98.0	0.6645	22.8	60.11
Nach Zul. von Kohlenoxyd	151.9	0.7165	23.0	100.38

Zur Verbrennung benutzt:

Angewandtes Gas . . .	168.6	0.7194	23.0	111.87
Nach der Verbrennung .	112.4	0.7206	23.0	74.71

Versuch 9.

Elektrolytisches Knallgas	119.3	0.3004	6.5	35.01
Nach Zusatz v. Kohlenoxyd	139.9	0.3207	7.0	43.75
Nach der Explosion . .	52.9	0.2421	5.3	12.58

Aus diesen Analysen ergeben sich folgende der Verbrennung unterworfenene Gasgemische:

	Vers. 1.	Vers. 2.	Vers. 3.	Vers. 4.	Vers. 5.
Sauerstoffvolumen	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
Wasserstoffvolumen	200.0	200.0	200.0	200.0	200.0
Kohlenoxydvolumen	793.8	575.0	448.6	294.7	174.0
	Vers. 6.	Vers. 7.	Vers. 8.	Vers. 9.	
Sauerstoffvolumen	100.0	100.0	100.0	100.0	
Wasserstoffvolumen	200.0	200.0	370.3	200.0	
Kohlenoxydvolumen	119.3	80.7	315.1	74.0	

Um zu berechnen, mit wie viel Wasserstoff und Sauerstoff die in den vorstehenden Gasgemengen enthaltenen 100 Vol. Sauerstoffgas verbrannten, braucht man nur das in Folge der Verbrennung bei den einzelnen Gasgemengen verschwundene Gasvolumen zu kennen, welches sich ebenfalls aus den angeführten Analysen ergibt. Nennt man dasselbe C und das verbrannte Sauerstoffvolumen $100 = S$, so ergibt sich das Volumen der gebildeten Kohlensäure k und des gebildeten Wasserdampfes w aus den leicht verständlichen Gleichungen

$$\begin{aligned} 3S - C &= k, \\ C - S &= w. \end{aligned}$$

Die aus den Versuchen abgeleiteten Werthe von S und C sind folgende:

	Vers. 1.	Vers. 2.	Vers. 3.	Vers. 4.	Vers. 5.
S . .	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
C . .	165.7	200.72	202.3	232.7	250.0
	Vers. 6.	Vers. 7.	Vers. 8.	Vers. 9.	
S . .	100.0	100.0	100.0	100.0	
C . .	251.7	261.2	260.9	266.5	

Daraus erhält man für die bei den einzelnen Verbrennungen gebildeten Volumina Kohlensäure und Wasserdampf:

	Vers. 1.	Vers. 2.	Vers. 3.	Vers. 4.	Vers. 5.
Kohlensäure . .	67	50	51	34	25
Wasserdampf . .	33	50	49	66	75
	100	100	100	100	100
	Vers. 6.	Vers. 7.	Vers. 8.	Vers. 9.	
Kohlensäure . .	24	19	20	17	
Wasserdampf . .	76	81	80	83	
	100	100	100	100	

Wären die in der ersten Horizontalspalte der folgenden Tabelle in Formeln angegebenen Verbindungen gebildet worden, so hätten die nachstehenden Volumenverhältnisse gefunden werden müssen.

Vers. 1. Vers. 2. Vers. 3. Vers. 4. Vers. 5.

	$\dot{\text{H}}\ddot{\text{C}}_2$	$\dot{\text{H}}\ddot{\text{C}}$	$\dot{\text{H}}\ddot{\text{C}}$	$\dot{\text{H}}_2\ddot{\text{C}}$	$\dot{\text{H}}_3\ddot{\text{C}}$
Kohlensäure . .	67	50	50	33	25
Wasserdampf . .	33	50	50	67	75
	100	100	100	100	100

Vers. 6. Vers. 7. Vers. 8. Vers. 9.

	$\dot{\text{H}}_3\ddot{\text{C}}$	$\dot{\text{H}}_4\ddot{\text{C}}$	$\dot{\text{H}}_4\ddot{\text{C}}$	$\dot{\text{H}}_5\ddot{\text{C}}$
Kohlensäure . .	25	20	20	17
Wasserdampf . .	75	80	80	83
	100	100	100	100

Die diesen einfachen Formeln zugehörige Zusammensetzung entspricht aber fast ganz genau den Volumenverhältnissen der Verbrennungsproducte, zu denen der Sauerstoff, in den mitgetheilten Versuchen, bei seiner Theilung in die ihm überschüssig dargebotenen Gase wirklich verbrannte.

In jeder der betrachteten neun Mischungen hat sich daher aus den Resultanten der gegenseitigen Anziehungen der sowohl verbrennenden als nicht verbrennenden Atome ein ganz bestimmtes System molecularer Anziehun-

gen gebildet, von solcher Art, dass die dem Zuge dieser Anziehungen Folge leistenden Atome zu den sechs einfachsten Hydraten der Kohlensäure zusammengeführt sein würden.

Tafel der Tension des Wasserdampfes für die Temperaturen von + 27 bis + 35°C., nach Regnault

°C.	Tension	°C.	Tension	°C.	Tension	°C.	Tension
27	2685	30	3022	33	3397	36	3810
28	2800	31	3148	34	3528	37	4050
29	2915	32	3275	35	3666	38	4290
30	3030	33	3402	36	3804	39	4530
31	3145	34	3529	37	3942	40	4770
32	3260	35	3656	38	4080	41	5010
33	3375	36	3783	39	4218	42	5250
34	3490	37	3910	40	4356	43	5490
35	3605	38	4037	41	4494	44	5730
36	3720	39	4164	42	4632	45	5970
37	3835	40	4291	43	4770	46	6210
38	3950	41	4418	44	4908	47	6450
39	4065	42	4545	45	5046	48	6690
40	4180	43	4672	46	5184	49	6930
41	4295	44	4799	47	5322	50	7170
42	4410	45	4926	48	5460	51	7410
43	4525	46	5053	49	5598	52	7650
44	4640	47	5180	50	5736	53	7890
45	4755	48	5307	51	5874	54	8130
46	4870	49	5434	52	6012	55	8370
47	4985	50	5561	53	6150	56	8610
48	5100	51	5688	54	6288	57	8850
49	5215	52	5815	55	6426	58	9090
50	5330	53	5942	56	6564	59	9330
51	5445	54	6069	57	6702	60	9570
52	5560	55	6196	58	6840	61	9810
53	5675	56	6323	59	6978	62	10050
54	5790	57	6450	60	7116	63	10290
55	5905	58	6577	61	7254	64	10530
56	6020	59	6704	62	7392	65	10770
57	6135	60	6831	63	7530	66	11010
58	6250	61	6958	64	7668	67	11250
59	6365	62	7085	65	7806	68	11490
60	6480	63	7212	66	7944	69	11730
61	6595	64	7339	67	8082	70	11970
62	6710	65	7466	68	8220	71	12210
63	6825	66	7593	69	8358	72	12450
64	6940	67	7720	70	8496	73	12690
65	7055	68	7847	71	8634	74	12930
66	7170	69	7974	72	8772	75	13170
67	7285	70	8101	73	8910	76	13410
68	7400	71	8228	74	9048	77	13650
69	7515	72	8355	75	9186	78	13890
70	7630	73	8482	76	9324	79	14130
71	7745	74	8609	77	9462	80	14370
72	7860	75	8736	78	9600	81	14610
73	7975	76	8863	79	9738	82	14850
74	8090	77	8990	80	9876	83	15090
75	8205	78	9117	81	10014	84	15330
76	8320	79	9244	82	10152	85	15570
77	8435	80	9371	83	10290	86	15810
78	8550	81	9498	84	10428	87	16050
79	8665	82	9625	85	10566	88	16290
80	8780	83	9752	86	10704	89	16530
81	8895	84	9879	87	10842	90	16770
82	9010	85	10006	88	10980	91	17010
83	9125	86	10133	89	11118	92	17250
84	9240	87	10260	90	11256	93	17490
85	9355	88	10387	91	11394	94	17730
86	9470	89	10514	92	11532	95	17970
87	9585	90	10641	93	11670	96	18210
88	9700	91	10768	94	11808	97	18450
89	9815	92	10895	95	11946	98	18690
90	9930	93	11022	96	12084	99	18930
91	10045	94	11149	97	12222	100	19170
92	10160	95	11276	98	12360		
93	10275	96	11403	99	12498		
94	10390	97	11530				
95	10505	98	11657				
96	10620	99	11784				
97	10735						
98	10850						
99	10965						
100	11080						

T A F E L N

ZUR

BERECHNUNG DER ANALYSEN.

Handwritten text at the top of the page, likely a title or header, which is mostly illegible due to fading and bleed-through.

T A B E L L E

DER

BERECHNUNG DER ANALYSEN

I.

Tafel der Tension des Wasserdampfes für die Temperaturen von -2° bis $+35^{\circ}$ C., nach Regnault

$^{\circ}$ C.	Tension.	$^{\circ}$ C.	Tension.	$^{\circ}$ C.	Tension.	$^{\circ}$ C.	Tension.
0	mm	0	mm	0	mm	0	mm
- 2.0	3.955	+ 2.0	5.302	+ 6.0	6.998	+ 10.0	9.165
1.9	3.985	2.1	5.340	6.1	7.047	10.1	9.227
1.8	4.016	2.2	5.378	6.2	7.095	10.2	9.288
1.7	4.047	2.3	5.416	6.3	7.144	10.3	9.350
1.6	4.078	2.4	5.454	6.4	7.193	10.4	9.412
1.5	4.109	2.5	5.491	6.5	7.242	10.5	9.474
1.4	4.140	2.6	5.530	6.6	7.292	10.6	9.537
1.3	4.171	2.7	5.569	6.7	7.342	10.7	9.601
1.2	4.203	2.8	5.608	6.8	7.392	10.8	9.665
1.1	4.235	2.9	5.647	6.9	7.442	10.9	9.728
1.0	4.267	3.0	5.687	7.0	7.492	11.0	9.792
0.9	4.299	3.1	5.727	7.1	7.544	11.1	9.857
0.8	4.331	3.2	5.767	7.2	7.595	11.2	9.923
0.7	4.364	3.3	5.807	7.3	7.647	11.3	9.989
0.6	4.397	3.4	5.848	7.4	7.699	11.4	10.054
0.5	4.430	3.5	5.889	7.5	7.751	11.5	10.120
0.4	4.463	3.6	5.930	7.6	7.804	11.6	10.187
0.3	4.497	3.7	5.972	7.7	7.857	11.7	10.255
0.2	4.531	3.8	6.014	7.8	7.910	11.8	10.322
0.1	4.565	3.9	6.055	7.9	7.964	11.9	10.389
0.0	4.600	4.0	6.097	8.0	8.017	12.0	10.457
+ 0.1	4.633	4.1	6.140	8.1	8.072	12.1	10.526
0.2	4.667	4.2	6.183	8.2	8.126	12.2	10.596
0.3	4.700	4.3	6.226	8.3	8.181	12.3	10.665
0.4	4.733	4.4	6.270	8.4	8.236	12.4	10.734
0.5	4.767	4.5	6.313	8.5	8.291	12.5	10.804
0.6	4.801	4.6	6.357	8.6	8.347	12.6	10.875
0.7	4.836	4.7	6.401	8.7	8.404	12.7	10.947
0.8	4.871	4.8	6.445	8.8	8.461	12.8	11.019
0.9	4.905	4.9	6.490	8.9	8.517	12.9	11.090
1.0	4.940	5.0	6.534	9.0	8.574	13.0	11.162
1.1	4.975	5.1	6.580	9.1	8.632	13.1	11.235
1.2	5.011	5.2	6.625	9.2	8.690	13.2	11.309
1.3	5.047	5.3	6.671	9.3	8.748	13.3	11.383
1.4	5.082	5.4	6.717	9.4	8.807	13.4	11.456
1.5	5.118	5.5	6.763	9.5	8.865	13.5	11.530
1.6	5.155	5.6	6.810	9.6	8.925	13.6	11.605
1.7	5.191	5.7	6.857	9.7	8.985	13.7	11.681
1.8	5.228	5.8	6.904	9.8	9.045	13.8	11.757
1.9	5.265	5.9	6.951	9.9	9.105	13.9	11.832

° C.	Tension.	° C.	Tension.	° C.	Tension.	° C.	Tension.
0	mm	0	mm	0	mm	0	mm
+ 14.0	11.908	+ 18.0	15.357	+ 22.0	19.659	+ 26.0	24.988
14.1	11.986	18.1	15.454	22.1	19.780	26.1	25.138
14.2	12.064	18.2	15.552	22.2	19.901	26.2	25.288
14.3	12.142	18.3	15.650	22.3	20.022	26.3	25.438
14.4	12.220	18.4	15.747	22.4	20.143	26.4	25.588
14.5	12.298	18.5	15.845	22.5	20.265	26.5	25.738
14.6	12.378	18.6	15.945	22.6	20.389	26.6	25.891
14.7	12.458	18.7	16.045	22.7	20.514	26.7	26.045
14.8	12.538	18.8	16.145	22.8	20.639	26.8	26.198
14.9	12.619	18.9	16.246	22.9	20.763	26.9	26.351
15.0	12.699	19.0	16.346	23.0	20.888	27.0	26.505
15.1	12.781	19.1	16.449	23.1	21.016	27.1	26.663
15.2	12.864	19.2	16.552	23.2	21.144	27.2	26.820
15.3	12.947	19.3	16.655	23.3	21.272	27.3	26.978
15.4	13.029	19.4	16.758	23.4	21.400	27.4	27.136
15.5	13.112	19.5	16.861	23.5	21.528	27.5	27.294
15.6	13.197	19.6	16.967	23.6	21.659	27.6	27.455
15.7	13.281	19.7	17.073	23.7	21.790	27.7	27.617
15.8	13.366	19.8	17.179	23.8	21.921	27.8	27.778
15.9	13.451	19.9	17.285	23.9	22.053	27.9	27.939
16.0	13.536	20.0	17.391	24.0	22.184	28.0	28.101
16.1	13.623	20.1	17.500	24.1	22.319	28.1	28.267
16.2	13.710	20.2	17.608	24.2	22.453	28.2	28.433
16.3	13.797	20.3	17.717	24.3	22.588	28.3	28.599
16.4	13.885	20.4	17.826	24.4	22.723	28.4	28.765
16.5	13.972	20.5	17.935	24.5	22.858	28.5	28.931
16.6	14.062	20.6	18.047	24.6	22.996	28.6	29.101
16.7	14.151	20.7	18.159	24.7	23.135	28.7	29.271
16.8	14.241	20.8	18.271	24.8	23.273	28.8	29.441
16.9	14.331	20.9	18.383	24.9	23.411	28.9	29.612
17.0	14.421	21.0	18.495	25.0	23.550	29.0	29.782
17.1	14.513	21.1	18.610	25.1	23.692	29.1	29.956
17.2	14.605	21.2	18.724	25.2	23.834	29.2	30.131
17.3	14.697	21.3	18.839	25.3	23.976	29.3	30.305
17.4	14.790	21.4	18.954	25.4	24.119	29.4	30.479
17.5	14.882	21.5	19.069	25.5	24.261	29.5	30.654
17.6	14.977	21.6	19.187	25.6	24.406	29.6	30.833
17.7	15.072	21.7	19.305	25.7	24.552	29.7	31.011
17.8	15.167	21.8	19.423	25.8	24.697	29.8	31.190
17.9	15.262	21.9	19.541	25.9	24.842	29.9	31.369

° C.	Tension.	° C.	Tension.	° C.	Tension.	° C.	Tension.
	mm		mm		mm		mm
+ 30.0	31.548	+ 32.0	35.359	+ 33.0	37.410	+ 34.0	39.565
30.1	31.729	32.1	35.559	33.1	37.621	34.1	39.786
30.2	31.911	32.2	35.760	33.2	37.832	34.2	40.007
30.3	32.094	32.3	35.962	33.3	38.045	34.3	40.230
30.4	32.278	32.4	36.165	33.4	38.258	34.4	40.455
30.5	32.463	32.5	36.370	33.5	38.473	34.5	40.680
30.6	32.650	32.6	36.576	33.6	38.689	34.6	40.907
30.7	32.837	32.7	36.783	33.7	38.906	34.7	41.135
30.8	33.026	32.8	36.991	33.8	39.124	34.8	41.364
30.9	33.215	32.9	37.200	33.9	39.344	34.9	41.595
						35.0	41.827
31.0	33.405						
31.1	33.596						
31.2	33.787						
31.3	33.980						
31.4	34.174						
31.5	34.368						
31.6	34.564						
31.7	34.761						
31.8	34.959						
31.9	35.159						

II.

Tafel für die Werthe von $1 + 0.00366 t$.

t .	Num.	Log.	t .	Num.	Log.
0			0		
— 2.0	0.99268	9.99681	+ 2.0	1.00732	0.00317
1.9	0.99305	9.99697	2.1	1.00769	0.00333
1.8	0.99341	9.99713	2.2	1.00805	0.00349
1.7	0.99378	9.99729	2.3	1.00842	0.00365
1.6	0.99414	9.99745	2.4	1.00878	0.00381
1.5	0.99451	9.99761	2.5	1.00915	0.00397
1.4	0.99488	9.99777	2.6	1.00952	0.00412
1.3	0.99524	9.99793	2.7	1.00988	0.00428
1.2	0.99561	9.99809	2.8	1.01025	0.00444
1.1	0.99597	9.99825	2.9	1.01061	0.00459
1.0	0.99634	9.99841	3.0	1.01098	0.00474
0.9	0.99671	9.99857	3.1	1.01135	0.00490
0.8	0.99707	9.99873	3.2	1.01171	0.00506
0.7	0.99744	9.99888	3.3	1.01208	0.00521
0.6	0.99780	9.99904	3.4	1.01244	0.00537
0.5	0.99817	9.99920	3.5	1.01281	0.00553
0.4	0.99854	9.99937	3.6	1.01318	0.00568
0.3	0.99890	9.99952	3.7	1.01354	0.00584
0.2	0.99927	9.99968	3.8	1.01391	0.00600
0.1	0.99963	9.99984	3.9	1.01427	0.00615
0.0	1.00000	0.00000	4.0	1.01464	0.00631
+ 0.1	1.00037	0.00016	4.1	1.01501	0.00647
0.2	1.00073	0.00032	4.2	1.01537	0.00663
0.3	1.00110	0.00048	4.3	1.01574	0.00678
0.4	1.00146	0.00063	4.4	1.01610	0.00694
0.5	1.00183	0.00079	4.5	1.01647	0.00710
0.6	1.00220	0.00095	4.6	1.01684	0.00725
0.7	1.00256	0.00111	4.7	1.01720	0.00741
0.8	1.00293	0.00127	4.8	1.01757	0.00756
0.9	1.00329	0.00143	4.9	1.01793	0.00772
1.0	1.00366	0.00159	5.0	1.01830	0.00788
1.1	1.00403	0.00175	5.1	1.01867	0.00803
1.2	1.00439	0.00191	5.2	1.01903	0.00819
1.3	1.00476	0.00207	5.3	1.01940	0.00834
1.4	1.00512	0.00222	5.4	1.01976	0.00850
1.5	1.00549	0.00238	5.5	1.02013	0.00865
1.6	1.00586	0.00254	5.6	1.02050	0.00881
1.7	1.00622	0.00270	5.7	1.02086	0.00896
1.8	1.00659	0.00285	5.8	1.02123	0.00912
1.9	1.00695	0.00301	5.9	1.02159	0.00927

t	Num.	Log.	t	Num.	Log.
0			0		
+ 6.0	1.02196	0.00943	+ 10.0	1.03660	0.01561
6.1	1.02233	0.00959	10.1	1.03697	0.01577
6.2	1.02269	0.00975	10.2	1.03733	0.01592
6.3	1.02306	0.00991	10.3	1.03770	0.01607
6.4	1.02342	0.01006	10.4	1.03806	0.01623
6.5	1.02379	0.01022	10.5	1.03843	0.01639
6.6	1.02416	0.01038	10.6	1.03880	0.01653
6.7	1.02452	0.01054	10.7	1.03916	0.01669
6.8	1.02489	0.01069	10.8	1.03953	0.01683
6.9	1.02525	0.01084	10.9	1.03989	0.01698
7.0	1.02562	0.01099	11.0	1.04026	0.01714
7.1	1.02599	0.01115	11.1	1.04063	0.01729
7.2	1.02635	0.01131	11.2	1.04099	0.01744
7.3	1.02672	0.01147	11.3	1.04136	0.01759
7.4	1.02708	0.01162	11.4	1.04172	0.01775
7.5	1.02745	0.01177	11.5	1.04209	0.01790
7.6	1.02782	0.01193	11.6	1.04246	0.01805
7.7	1.02818	0.01208	11.7	1.04282	0.01820
7.8	1.02855	0.01223	11.8	1.04319	0.01836
7.9	1.02891	0.01238	11.9	1.04355	0.01851
8.0	1.02928	0.01253	12.0	1.04392	0.01867
8.1	1.02965	0.01269	12.1	1.04429	0.01882
8.2	1.03001	0.01284	12.2	1.04465	0.01897
8.3	1.03038	0.01300	12.3	1.04502	0.01912
8.4	1.03074	0.01315	12.4	1.04538	0.01928
8.5	1.03111	0.01330	12.5	1.04575	0.01943
8.6	1.03148	0.01346	12.6	1.04612	0.01958
8.7	1.03184	0.01361	12.7	1.04648	0.01973
8.8	1.03221	0.01377	12.8	1.04685	0.01989
8.9	1.03257	0.01392	12.9	1.04721	0.02004
9.0	1.03294	0.01407	13.0	1.04758	0.02019
9.1	1.03331	0.01423	13.1	1.04795	0.02034
9.2	1.03367	0.01438	13.2	1.04831	0.02049
9.3	1.03404	0.01454	13.3	1.04868	0.02064
9.4	1.03440	0.01469	13.4	1.04904	0.02079
9.5	1.03477	0.01484	13.5	1.04941	0.02095
9.6	1.03514	0.01500	13.6	1.04978	0.02110
9.7	1.03550	0.01515	13.7	1.05014	0.02125
9.8	1.03587	0.01530	13.8	1.05051	0.02140
9.9	1.03623	0.01545	13.9	1.05087	0.02155

t	Num.	Log.	t	Num.	Log.
0			0		
+ 14.0	1.05124	0.02170	+ 18.0	1.06588	0.02771
14.1	1.05161	0.02185	18.1	1.06625	0.02786
14.2	1.05197	0.02200	18.2	1.06661	0.02801
14.3	1.05234	0.02215	18.3	1.06698	0.02816
14.4	1.05270	0.02230	18.4	1.06734	0.02831
14.5	1.05307	0.02246	18.5	1.06771	0.02846
14.6	1.05344	0.02261	18.6	1.06808	0.02861
14.7	1.05380	0.02276	18.7	1.06844	0.02876
14.8	1.05417	0.02291	18.8	1.06881	0.02891
14.9	1.05453	0.02306	18.9	1.06917	0.02906
15.0	1.05490	0.02321	19.0	1.06954	0.02921
15.1	1.05527	0.02336	19.1	1.06991	0.02936
15.2	1.05563	0.02351	19.2	1.07027	0.02951
15.3	1.05600	0.02366	19.3	1.07064	0.02965
15.4	1.05636	0.02381	19.4	1.07100	0.02980
15.5	1.05673	0.02396	19.5	1.07137	0.02995
15.6	1.05710	0.02411	19.6	1.07174	0.03009
15.7	1.05746	0.02426	19.7	1.07210	0.03024
15.8	1.05783	0.02441	19.8	1.07247	0.03039
15.9	1.05819	0.02456	19.9	1.07283	0.03053
16.0	1.05856	0.02471	20.0	1.07320	0.03068
16.1	1.05893	0.02486	20.1	1.07357	0.03083
16.2	1.05929	0.02501	20.2	1.07393	0.03098
16.3	1.05966	0.02516	20.3	1.07430	0.03113
16.4	1.06002	0.02531	20.4	1.07466	0.03128
16.5	1.06039	0.02546	20.5	1.07503	0.03142
16.6	1.06076	0.02561	20.6	1.07540	0.03157
16.7	1.06112	0.02576	20.7	1.07576	0.03172
16.8	1.06149	0.02591	20.8	1.07613	0.03187
16.9	1.06185	0.02606	20.9	1.07649	0.03201
17.0	1.06222	0.02621	21.0	1.07686	0.03216
17.1	1.06259	0.02636	21.1	1.07723	0.03231
17.2	1.06295	0.02651	21.2	1.07759	0.03246
17.3	1.06332	0.02666	21.3	1.07796	0.03261
17.4	1.06368	0.02681	21.4	1.07832	0.03275
17.5	1.06405	0.02696	21.5	1.07869	0.03290
17.6	1.06442	0.02711	21.6	1.07906	0.03305
17.7	1.06478	0.02726	21.7	1.07942	0.03320
17.8	1.06515	0.02741	21.8	1.07979	0.03334
17.9	1.06551	0.02756	21.9	1.08015	0.03349
18.0	1.06588	0.02771	22.0	1.08052	0.03363
18.1	1.06625	0.02786	22.1	1.08089	0.03378
18.2	1.06661	0.02801	22.2	1.08126	0.03392
18.3	1.06698	0.02816	22.3	1.08163	0.03407
18.4	1.06734	0.02831	22.4	1.08200	0.03421
18.5	1.06771	0.02846	22.5	1.08237	0.03436
18.6	1.06808	0.02861	22.6	1.08274	0.03450
18.7	1.06844	0.02876	22.7	1.08311	0.03465
18.8	1.06881	0.02891	22.8	1.08348	0.03479
18.9	1.06917	0.02906	22.9	1.08385	0.03494
19.0	1.06954	0.02921	23.0	1.08422	0.03508
19.1	1.06991	0.02936	23.1	1.08459	0.03523
19.2	1.07027	0.02951	23.2	1.08496	0.03537
19.3	1.07064	0.02965	23.3	1.08533	0.03552
19.4	1.07100	0.02980	23.4	1.08570	0.03566
19.5	1.07137	0.02995	23.5	1.08607	0.03581
19.6	1.07174	0.03009	23.6	1.08644	0.03595
19.7	1.07210	0.03024	23.7	1.08681	0.03610
19.8	1.07247	0.03039	23.8	1.08718	0.03624
19.9	1.07283	0.03053	23.9	1.08755	0.03639
20.0	1.07320	0.03068	24.0	1.08792	0.03653
20.1	1.07357	0.03083	24.1	1.08829	0.03668
20.2	1.07393	0.03098	24.2	1.08866	0.03682
20.3	1.07430	0.03113	24.3	1.08903	0.03697
20.4	1.07466	0.03128	24.4	1.08940	0.03711
20.5	1.07503	0.03142	24.5	1.08977	0.03726
20.6	1.07540	0.03157	24.6	1.09014	0.03740
20.7	1.07576	0.03172	24.7	1.09051	0.03755
20.8	1.07613	0.03187	24.8	1.09088	0.03769
20.9	1.07649	0.03201	24.9	1.09125	0.03784
21.0	1.07686	0.03216	25.0	1.09162	0.03798
21.1	1.07723	0.03231	25.1	1.09199	0.03813
21.2	1.07759	0.03246	25.2	1.09236	0.03827
21.3	1.07796	0.03261	25.3	1.09273	0.03842
21.4	1.07832	0.03275	25.4	1.09310	0.03856
21.5	1.07869	0.03290	25.5	1.09347	0.03871
21.6	1.07906	0.03305	25.6	1.09384	0.03885
21.7	1.07942	0.03320	25.7	1.09421	0.03900
21.8	1.07979	0.03334	25.8	1.09458	0.03914
21.9	1.08015	0.03349	25.9	1.09495	0.03929
22.0	1.08052	0.03363	26.0	1.09532	0.03943
22.1	1.08089	0.03378	26.1	1.09569	0.03958
22.2	1.08126	0.03392	26.2	1.09606	0.03972
22.3	1.08163	0.03407	26.3	1.09643	0.03987
22.4	1.08200	0.03421	26.4	1.09680	0.03999
22.5	1.08237	0.03436	26.5	1.09717	0.04014
22.6	1.08274	0.03450	26.6	1.09754	0.04029
22.7	1.08311	0.03465	26.7	1.09791	0.04043
22.8	1.08348	0.03479	26.8	1.09828	0.04058
22.9	1.08385	0.03494	26.9	1.09865	0.04072
23.0	1.08422	0.03508	27.0	1.09902	0.04087
23.1	1.08459	0.03523	27.1	1.09939	0.04101
23.2	1.08496	0.03537	27.2	1.09976	0.04116
23.3	1.08533	0.03552	27.3	1.10013	0.04130
23.4	1.08570	0.03566	27.4	1.10050	0.04145
23.5	1.08607	0.03581	27.5	1.10087	0.04159
23.6	1.08644	0.03595	27.6	1.10124	0.04174
23.7	1.08681	0.03610	27.7	1.10161	0.04188
23.8	1.08718	0.03624	27.8	1.10198	0.04203
23.9	1.08755	0.03639	27.9	1.10235	0.04217
24.0	1.08792	0.03653	28.0	1.10272	0.04232
24.1	1.08829	0.03668	28.1	1.10309	0.04246
24.2	1.08866	0.03682	28.2	1.10346	0.04261
24.3	1.08903	0.03697	28.3	1.10383	0.04275
24.4	1.08940	0.03711	28.4	1.10420	0.04290
24.5	1.08977	0.03726	28.5	1.10457	0.04304
24.6	1.09014	0.03740	28.6	1.10494	0.04319
24.7	1.09051	0.03755	28.7	1.10531	0.04333
24.8	1.09088	0.03769	28.8	1.10568	0.04348
24.9	1.09125	0.03784	28.9	1.10605	0.04362
25.0	1.09162	0.03798	29.0	1.10642	0.04377
25.1	1.09199	0.03813	29.1	1.10679	0.04391
25.2	1.09236	0.03827	29.2	1.10716	0.04406
25.3	1.09273	0.03842	29.3	1.10753	0.04420
25.4	1.09310	0.03856	29.4	1.10790	0.04435
25.5	1.09347	0.03871	29.5	1.10827	0.04449
25.6	1.09384	0.03885	29.6	1.10864	0.04464
25.7	1.09421	0.03900	29.7	1.10901	0.04478
25.8	1.09458	0.03914	29.8	1.10938	0.04493
25.9	1.09495	0.03929	29.9	1.10975	0.04507
26.0	1.09532	0.03943	30.0	1.11012	0.04522
26.1	1.09569	0.03958	30.1	1.11049	0.04536
26.2	1.09606	0.03972	30.2	1.11086	0.04551
26.3	1.09643	0.03987	30.3	1.11123	0.04565
26.4	1.09680	0.03999	30.4	1.11160	0.04580
26.5	1.09717	0.04014	30.5	1.11197	0.04594
26.6	1.09754	0.04029	30.6	1.11234	0.04609
26.7	1.09791	0.04043	30.7	1.11271	0.04623
26.8	1.09828	0.04058	30.8	1.11308	0.04638
26.9	1.09865	0.04072	30.9	1.11345	0.04652
27.0	1.09902	0.04087	31.0	1.11382	0.04667
27.1	1.09939	0.04101	31.1	1.11419	0.04681
27.2	1.09976	0.04116	31.2	1.11456	0.04696
27.3	1.10013	0.04130	31.3	1.11493	0.04710
27.4	1.10050	0.04145	31.4	1.11530	0.04725
27.5	1.10087	0.04159	31.5	1.11567	0.04739
27.6	1.10124	0.04174	31.6	1.11604	0.04754
27.7	1.10161	0.04188	31.7	1.11641	0.04768
27.8	1.10198	0.04203	31.8	1.11678	0.04783
27.9	1.10235	0.04217	31.9	1.11715	0.04797
28.0	1.10272	0.04232	32.0	1.11752	0.04812
28.1	1.10309	0.04246	32.1	1.11789	0.04826
28.2	1.10346	0.04261	32.2	1.11826	0.04841
28.3	1.10383	0.04275	32.3	1.11863	0.04855
28.4	1.10420	0.04290	32.4	1.11900	0.04870
28.5	1.10457	0.04304	32.5	1.11937	0.04884
28.6	1.10494	0.04319	32.6	1.11974	0.04899
28.7	1.10531	0.04333	32.7	1.12011	0.04913
28.8	1.10568	0.04348	32.8	1.12048	0.04928
28.9	1.10605	0.04362	32.9	1.12085	0.04942
29.0	1.10642	0.04377	33.0	1.12122	0.04957
29.1	1.10679	0.04391	33.1	1.12159	0.04971
29.2	1.10716	0.04406	33.2	1.12196	0.04986
29.3	1.10753	0.04420	33.3	1.12233	0.04999
29.4	1.10790	0.04435	33.4	1.12270	0.05014
29.5	1.10827	0.04449	33.5	1.12307	0.05029
29.6	1.10864	0.04464	33.6	1.12344	0.05043
29.7	1.10901	0.04478	33.7	1.12381	0.05058
29.8	1.10938	0.04493	33.8	1.12418	0.05072
29.9	1.10975	0.04507	33.9	1.12455	0.05087
30.0	1.11012	0.04522	34.0	1.12492	0.05101

t	Num.	Log.	t	Num.	Log.
0			0		
+ 22.0	1.08052	0.03363	+ 26.0	1.09516	0.03948
22.1	1.08089	0.03378	26.1	1.09553	0.03963
22.2	1.08125	0.03393	26.2	1.09589	0.03977
22.3	1.08162	0.03408	26.3	1.09626	0.03992
22.4	1.08198	0.03422	26.4	1.09662	0.04006
22.5	1.08235	0.03437	26.5	1.09699	0.04021
22.6	1.08272	0.03452	26.6	1.09736	0.04035
22.7	1.08308	0.03466	26.7	1.09772	0.04050
22.8	1.08345	0.03481	26.8	1.09809	0.04064
22.9	1.08381	0.03496	26.9	1.09845	0.04079
23.0	1.08418	0.03510	27.0	1.09882	0.04093
23.1	1.08455	0.03525	27.1	1.09919	0.04107
23.2	1.08491	0.03539	27.2	1.09955	0.04122
23.3	1.08528	0.03554	27.3	1.09992	0.04136
23.4	1.08564	0.03568	27.4	1.10028	0.04150
23.5	1.08601	0.03583	27.5	1.10065	0.04165
23.6	1.08638	0.03598	27.6	1.10102	0.04179
23.7	1.08674	0.03612	27.7	1.10138	0.04193
23.8	1.08711	0.03627	27.8	1.10175	0.04208
23.9	1.08747	0.03642	27.9	1.10211	0.04222
24.0	1.08784	0.03656	28.0	1.10248	0.04237
24.1	1.08821	0.03671	28.1	1.10285	0.04251
24.2	1.08857	0.03685	28.2	1.10321	0.04266
24.3	1.08894	0.03700	28.3	1.10358	0.04280
24.4	1.08930	0.03714	28.4	1.10394	0.04295
24.5	1.08967	0.03729	28.5	1.10431	0.04309
24.6	1.09004	0.03744	28.6	1.10468	0.04323
24.7	1.09040	0.03758	28.7	1.10504	0.04338
24.8	1.09077	0.03772	28.8	1.10541	0.04352
24.9	1.09113	0.03787	28.9	1.10577	0.04367
25.0	1.09150	0.03802	29.0	1.10614	0.04381
25.1	1.09187	0.03817	29.1	1.10651	0.04395
25.2	1.09223	0.03831	29.2	1.10687	0.04410
25.3	1.09260	0.03846	29.3	1.10724	0.04424
25.4	1.09296	0.03860	29.4	1.10760	0.04438
25.5	1.09333	0.03875	29.5	1.10797	0.04453
25.6	1.09370	0.03889	29.6	1.10834	0.04467
25.7	1.09406	0.03904	29.7	1.10870	0.04482
25.8	1.09443	0.03918	29.8	1.10907	0.04496
25.9	1.09479	0.03933	29.9	1.10943	0.04510

t .	Num.	Log.	t .	Num.	Log.
0			0		
+ 30.0	1.10980	0.04524	+ 34.0	1.12444	0.05094
30.1	1.11017	0.04538	34.1	1.12481	0.05108
30.2	1.11053	0.04552	34.2	1.12517	0.05122
30.3	1.11090	0.04567	34.3	1.12554	0.05136
30.4	1.11126	0.04581	34.4	1.12590	0.05150
30.5	1.11163	0.04595	34.5	1.12627	0.05164
30.6	1.11200	0.04610	34.6	1.12664	0.05178
30.7	1.11236	0.04624	34.7	1.12700	0.05193
30.8	1.11273	0.04638	34.8	1.12737	0.05207
30.9	1.11309	0.04653	34.9	1.12773	0.05221
31.0	1.11346	0.04667	35.0	1.12810	0.05235
31.1	1.11383	0.04681	35.1	1.12847	0.05249
31.2	1.11419	0.04695	35.2	1.12883	0.05263
31.3	1.11456	0.04710	35.3	1.12920	0.05277
31.4	1.11492	0.04724	35.4	1.12956	0.05291
31.5	1.11529	0.04738	35.5	1.12993	0.05305
31.6	1.11566	0.04753	35.6	1.13030	0.05319
31.7	1.11602	0.04767	35.7	1.13066	0.05333
31.8	1.11639	0.04781	35.8	1.13103	0.05347
31.9	1.11675	0.04796	35.9	1.13139	0.05361
32.0	1.11712	0.04810	36.0	1.13176	0.05375
32.1	1.11749	0.04824	36.1	1.13213	0.05389
32.2	1.11785	0.04838	36.2	1.13249	0.05403
32.3	1.11822	0.04852	36.3	1.13286	0.05417
32.4	1.11858	0.04866	36.4	1.13322	0.05431
32.5	1.11895	0.04881	36.5	1.13359	0.05446
32.6	1.11932	0.04895	36.6	1.13396	0.05460
32.7	1.11968	0.04909	36.7	1.13432	0.05474
32.8	1.12005	0.04923	36.8	1.13469	0.05488
32.9	1.12041	0.04938	36.9	1.13505	0.05502
33.0	1.12078	0.04952	37.0	1.13542	0.05516
33.1	1.12115	0.04966	37.1	1.13579	0.05530
33.2	1.12151	0.04980	37.2	1.13615	0.05544
33.3	1.12188	0.04994	37.3	1.13652	0.05558
33.4	1.12224	0.05008	37.4	1.13688	0.05572
33.5	1.12261	0.05022	37.5	1.13725	0.05585
33.6	1.12298	0.05036	37.6	1.13762	0.05599
33.7	1.12334	0.05050	37.7	1.13798	0.05613
33.8	1.12371	0.05065	37.8	1.13835	0.05627
33.9	1.12407	0.05079	37.9	1.13871	0.05641

t .	Num.	Log.	t .	Num.	Log.
0			0		
+ 38.0	1.13908	0.05655	+ 39.0	1.14274	0.05795
38.1	1.13945	0.05669	39.1	1.14311	0.05809
38.2	1.13981	0.05683	39.2	1.14347	0.05823
38.3	1.14018	0.05697	39.3	1.14384	0.05837
38.4	1.14054	0.05711	39.4	1.14420	0.05850
38.5	1.14091	0.05725	39.5	1.14457	0.05864
38.6	1.14128	0.05739	39.6	1.14494	0.05878
38.7	1.14164	0.05753	39.7	1.14530	0.05892
38.8	1.14201	0.05767	39.8	1.14567	0.05905
38.9	1.14237	0.05781	39.9	1.14603	0.05919
			40.0	1.14640	0.05933

III.

Tafel der Tension des Dampfes von absolutem Alkohol,
nach Regnault. *)

° C.	Tension.	° C.	Tension.	° C.	Tension.	° C.	Tension.
0	mm	0	mm	0	mm	0	mm
0.0	12.73	4.0	16.62	8.0	21.31	12.0	27.19
0.1	12.82	4.1	16.73	8.1	21.45	12.1	27.36
0.2	12.91	4.2	16.84	8.2	21.58	12.2	27.53
0.3	13.01	4.3	16.95	8.3	21.72	12.3	27.70
0.4	13.10	4.4	17.05	8.4	21.85	12.4	27.87
0.5	13.19	4.5	17.16	8.5	21.99	12.5	28.04
0.6	13.28	4.6	17.27	8.6	22.12	12.6	28.21
0.7	13.37	4.7	17.38	8.7	22.25	12.7	28.38
0.8	13.46	4.8	17.48	8.8	22.39	12.8	28.55
0.9	13.56	4.9	17.59	8.9	22.52	12.9	28.72
1.0	13.65	5.0	17.70	9.0	22.66	13.0	28.89
1.1	13.74	5.1	17.82	9.1	22.80	13.1	29.07
1.2	13.84	5.2	17.93	9.2	22.94	13.2	29.25
1.3	13.93	5.3	18.04	9.3	23.08	13.3	29.43
1.4	14.03	5.4	18.16	9.4	23.23	13.4	29.61
1.5	14.12	5.5	18.27	9.5	23.37	13.5	29.79
1.6	14.22	5.6	18.38	9.6	23.51	13.6	29.97
1.7	14.31	5.7	18.50	9.7	23.65	13.7	30.15
1.8	14.41	5.8	18.61	9.8	23.79	13.8	30.23
1.9	14.50	5.9	18.73	9.9	23.94	13.9	30.51
2.0	14.60	6.0	18.84	10.0	24.08	14.0	30.69
2.1	14.70	6.1	18.96	10.1	24.23	14.1	30.88
2.2	14.79	6.2	19.08	10.2	24.38	14.2	31.07
2.3	14.89	6.3	19.20	10.3	24.53	14.3	31.26
2.4	14.99	6.4	19.32	10.4	24.68	14.4	31.45
2.5	15.09	6.5	19.44	10.5	24.83	14.5	31.64
2.6	15.19	6.6	19.56	10.6	24.99	14.6	31.84
2.7	15.29	6.7	19.68	10.7	25.14	14.7	32.03
2.8	15.39	6.8	19.80	10.8	25.29	14.8	32.22
2.9	15.49	6.9	19.92	10.9	25.44	14.9	32.41
3.0	15.59	7.0	20.04	11.0	25.59	15.0	32.60
3.1	15.69	7.1	20.17	11.1	25.75	15.1	32.80
3.2	15.79	7.2	20.30	11.2	25.91	15.2	33.01
3.3	15.90	7.3	20.43	11.3	26.07	15.3	33.21
3.4	16.00	7.4	20.55	11.4	26.23	15.4	33.41
3.5	16.10	7.5	20.68	11.5	26.39	15.5	33.61
3.6	16.21	7.6	20.81	11.6	26.55	15.6	33.82
3.7	16.31	7.7	20.93	11.7	26.71	15.7	34.02
3.8	16.41	7.8	21.06	11.8	26.87	15.8	34.22
3.9	16.52	7.9	21.19	11.9	27.03	15.9	34.42

*) Die Tabelle ist aus den erst später erschienenen Versuchen

° C.	Tension.	° C.	Tension.	° C.	Tension.	° C.	Tension.
0	mm	0	mm	0	mm	0	mm
16.0	34.62	20.0	44.00	24.0	55.70	28.0	70.02
16.1	34.84	20.1	44.27	24.1	56.04	28.1	70.49
16.2	35.05	20.2	44.54	24.2	56.37	28.2	70.89
16.3	35.27	20.3	44.81	24.3	56.70	28.3	71.29
16.4	35.48	20.4	45.08	24.4	57.03	28.4	71.69
16.5	35.70	20.5	45.35	24.5	57.37	28.5	72.09
16.6	35.91	20.6	45.61	24.6	57.70	28.6	72.49
16.7	36.13	20.7	45.88	24.7	58.03	28.7	72.89
16.8	36.34	20.8	46.15	24.8	58.36	28.8	73.29
16.9	36.56	20.9	46.42	24.9	58.70	28.9	73.69
17.0	36.77	21.0	46.69	25.0	59.03	29.0	74.09
17.1	37.00	21.1	46.98	25.1	59.38	29.1	74.53
17.2	37.23	21.2	47.26	25.2	59.73	29.2	74.96
17.3	37.45	21.3	47.55	25.3	60.08	29.3	75.39
17.4	37.68	21.4	47.83	25.4	60.43	29.4	75.82
17.5	37.91	21.5	48.12	25.5	60.78	29.5	76.25
17.6	38.14	21.6	48.40	25.6	61.13	29.6	76.68
17.7	38.36	21.7	48.69	25.7	61.48	29.7	77.12
17.8	38.59	21.8	48.97	25.8	61.83	29.8	77.55
17.9	38.82	21.9	49.26	25.9	62.18	29.9	77.98
18.0	39.05	22.0	49.54	26.0	62.53	30.0	78.41
18.1	39.29	22.1	49.84	26.1	62.90		
18.2	39.53	22.2	50.14	26.2	63.27		
18.3	39.77	22.3	50.44	26.3	63.64		
18.4	40.01	22.4	50.74	26.4	64.01		
18.5	40.25	22.5	51.04	26.5	64.37		
18.6	40.49	22.6	51.34	26.6	64.74		
18.7	40.73	22.7	51.64	26.7	65.11		
18.8	40.97	22.8	51.94	26.8	65.48		
18.9	41.21	22.9	52.24	26.9	65.85		
19.0	41.45	23.0	52.54	27.0	66.22		
19.1	41.71	23.1	52.86	27.1	66.60		
19.2	41.96	23.2	53.17	27.2	66.99		
19.3	42.22	23.3	53.49	27.3	67.38		
19.4	42.47	23.4	53.81	27.4	67.77		
19.5	42.73	23.5	54.12	27.5	68.15		
19.6	42.98	23.6	54.44	27.6	68.54		
19.7	43.24	23.7	54.75	27.7	68.93		
19.8	43.49	23.8	55.07	27.8	69.31		
19.9	43.75	23.9	55.38	27.9	69.70		

Regnault's berechnet. Im Texte (vergl. S. 153) konnten nur die älteren Bestimmungen von Munke benutzt werden.

IV.

Tafel zur Reduction der Barometerablesungen an gläserner Scale auf 0° C.

Millim.	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°
5	0.00085	0.00171	0.00256	0.00342	0.00428	0.00513	0.00599	0.00684	0.00770	0.00855
10	0.00171	0.00342	0.00513	0.00684	0.00856	0.01027	0.01198	0.01369	0.01540	0.01711
15	0.00256	0.00513	0.00769	0.01026	0.01284	0.01540	0.01797	0.02053	0.02310	0.02566
20	0.00342	0.00684	0.01027	0.01368	0.01712	0.02054	0.02396	0.02738	0.03080	0.03422
25	0.00427	0.00855	0.01283	0.01710	0.02139	0.02567	0.02995	0.03422	0.03850	0.04277
30	0.00513	0.01026	0.01540	0.02052	0.02567	0.03080	0.03593	0.04107	0.04620	0.05133
35	0.00598	0.01197	0.01797	0.02394	0.02995	0.03594	0.04192	0.04791	0.05390	0.05988
40	0.00684	0.01368	0.02053	0.02736	0.03423	0.04107	0.04791	0.05476	0.06160	0.06844
45	0.00769	0.01539	0.02310	0.03078	0.03850	0.04620	0.05390	0.06160	0.06930	0.07699
50	0.00855	0.01711	0.02567	0.03422	0.04278	0.05133	0.05989	0.06844	0.07700	0.08555
55	0.00940	0.01882	0.02824	0.03764	0.04706	0.05646	0.06588	0.07528	0.08470	0.09410
60	0.01026	0.02053	0.03080	0.04106	0.05134	0.06160	0.07187	0.08213	0.09240	0.10266
65	0.01111	0.02224	0.03337	0.04449	0.05562	0.06673	0.07786	0.08897	0.10010	0.11121
70	0.01197	0.02395	0.03593	0.04791	0.05990	0.07187	0.08385	0.09582	0.10780	0.11977
75	0.01282	0.02567	0.03850	0.05153	0.06417	0.07700	0.08983	0.10266	0.11550	0.12832
80	0.01368	0.02738	0.04106	0.05476	0.06845	0.08213	0.09582	0.10951	0.12320	0.13688
85	0.01453	0.02909	0.04363	0.05818	0.07273	0.08727	0.10181	0.11635	0.13090	0.14543
90	0.01539	0.03080	0.04619	0.06160	0.07701	0.09240	0.10780	0.12320	0.13860	0.15399
95	0.01625	0.03251	0.04876	0.06502	0.08129	0.09753	0.11378	0.13004	0.14630	0.16254
100	0.01711	0.03422	0.05133	0.06844	0.08555	0.10266	0.11977	0.13688	0.15399	0.17110
105	0.01796	0.03593	0.05390	0.07186	0.08983	0.10779	0.12576	0.14372	0.16169	0.17965
110	0.01882	0.03764	0.05646	0.07528	0.09411	0.11293	0.13175	0.15057	0.16939	0.18821
115	0.01967	0.03935	0.05903	0.07871	0.09839	0.11806	0.13774	0.15741	0.17709	0.19676
120	0.02053	0.04106	0.06160	0.08213	0.10266	0.12320	0.14372	0.16426	0.18479	0.20532
125	0.02138	0.04278	0.06416	0.08555	0.10694	0.12833	0.14971	0.17110	0.19248	0.21387

130	0.02224	0.04449	0.06673	0.08898	0.11122	0.13346	0.15570	0.17795	0.20018	0.22243
135	0.02309	0.04620	0.06929	0.09240	0.11549	0.13860	0.16169	0.18479	0.20788	0.23098
140	0.02395	0.04791	0.07186	0.09582	0.11977	0.14374	0.16767	0.19164	0.21558	0.23954
145	0.02480	0.04962	0.07442	0.09924	0.12405	0.14887	0.17306	0.19848	0.22328	0.24809
150	0.02566	0.05133	0.07699	0.10266	0.12832	0.15399	0.17965	0.20532	0.23098	0.25665
155	0.02651	0.05304	0.07956	0.10608	0.13260	0.15912	0.18564	0.21216	0.23868	0.26520
160	0.02737	0.05475	0.08212	0.10950	0.13688	0.16426	0.19163	0.21901	0.24638	0.27376
165	0.02822	0.05646	0.08469	0.11293	0.14116	0.16939	0.19762	0.22585	0.25408	0.28231
170	0.02908	0.05817	0.08726	0.11635	0.14543	0.17453	0.20361	0.23270	0.26178	0.29087
175	0.02994	0.05989	0.08982	0.11977	0.14971	0.17966	0.20959	0.23954	0.26948	0.29942
180	0.03079	0.06160	0.09239	0.12320	0.15399	0.18479	0.21553	0.24639	0.27718	0.30798
185	0.03165	0.06331	0.09495	0.12662	0.15827	0.18993	0.22157	0.25323	0.28488	0.31653
190	0.03250	0.06502	0.09752	0.13004	0.16254	0.19506	0.22756	0.26008	0.29258	0.32509
195	0.03336	0.06673	0.10008	0.13346	0.16682	0.20019	0.23355	0.26692	0.30028	0.33364
200	0.03422	0.06844	0.10266	0.13688	0.17110	0.20532	0.23954	0.27376	0.30798	0.34220
205	0.03507	0.07015	0.10523	0.14030	0.17538	0.21045	0.24553	0.28060	0.31568	0.35075
210	0.03593	0.07186	0.10779	0.14372	0.17966	0.21559	0.25152	0.28745	0.32338	0.35931
215	0.03678	0.07357	0.11036	0.14715	0.18394	0.22072	0.25751	0.29429	0.33108	0.36786
220	0.03764	0.07528	0.11293	0.15057	0.18821	0.22586	0.26349	0.30114	0.33878	0.37642
225	0.03849	0.07700	0.11549	0.15399	0.19249	0.23099	0.26948	0.30798	0.34647	0.38497
230	0.03935	0.07871	0.11805	0.15742	0.19677	0.23612	0.27547	0.31483	0.35417	0.39353
235	0.04020	0.08042	0.12062	0.16084	0.20105	0.24126	0.28145	0.32167	0.36187	0.40208
240	0.04106	0.08213	0.12318	0.16426	0.20532	0.24639	0.28744	0.32852	0.36957	0.41064
245	0.04191	0.08384	0.12575	0.16768	0.20960	0.25152	0.29343	0.33536	0.37727	0.41919
250	0.04277	0.08555	0.12832	0.17110	0.21387	0.25665	0.29942	0.34220	0.38497	0.42775
255	0.04362	0.08726	0.13089	0.17452	0.21815	0.26178	0.30541	0.34904	0.39267	0.43630
260	0.04448	0.08897	0.13345	0.17794	0.22243	0.26692	0.31140	0.35589	0.40037	0.44486
265	0.04534	0.09068	0.13601	0.18137	0.22671	0.27205	0.31739	0.36273	0.40807	0.45341
270	0.04619	0.09239	0.13858	0.18479	0.23098	0.27719	0.32338	0.36958	0.41577	0.46197
275	0.04705	0.09411	0.14115	0.18821	0.23526	0.28232	0.32936	0.37642	0.42347	0.47052
280	0.04790	0.09582	0.14371	0.19164	0.23954	0.28745	0.33535	0.38327	0.43117	0.47908
285	0.04876	0.09753	0.14628	0.19506	0.24381	0.29259	0.34134	0.39011	0.43887	0.48763
290	0.04961	0.09924	0.14884	0.19848	0.24809	0.29772	0.34733	0.39696	0.44657	0.49619
295	0.05047	0.10095	0.15141	0.20190	0.25237	0.30285	0.35332	0.40380	0.45427	0.50474
300	0.05133	0.10266	0.15399	0.20532	0.25665	0.30798	0.35931	0.41064	0.46197	0.51330

Millim.	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°
305	0.05218	0.10437	0.15656	0.20874	0.26093	0.31311	0.36530	0.41748	0.46967	0.52185
310	0.05304	0.10608	0.15912	0.21216	0.26521	0.31825	0.37129	0.42433	0.47737	0.53041
315	0.05389	0.10779	0.16169	0.21559	0.26949	0.32338	0.37728	0.43117	0.48507	0.53896
320	0.05475	0.10951	0.16426	0.21901	0.27376	0.32852	0.38326	0.43802	0.49277	0.54752
325	0.05560	0.11122	0.16682	0.22243	0.27804	0.33365	0.38925	0.44486	0.50046	0.55607
330	0.05646	0.11293	0.16939	0.22586	0.28232	0.33878	0.39524	0.45171	0.50816	0.56463
335	0.05731	0.11464	0.17195	0.22928	0.28659	0.34392	0.40122	0.45855	0.51586	0.57318
340	0.05817	0.11635	0.17452	0.23270	0.29087	0.34905	0.40721	0.46540	0.52356	0.58174
345	0.05902	0.11806	0.17708	0.23612	0.29515	0.35418	0.41320	0.47224	0.53126	0.59029
350	0.05988	0.11977	0.17965	0.23954	0.29942	0.35931	0.41919	0.47908	0.53896	0.59885
355	0.06074	0.12148	0.18222	0.24296	0.30370	0.36444	0.42518	0.48592	0.54666	0.60740
360	0.06159	0.12319	0.18478	0.24638	0.30798	0.36958	0.43117	0.49277	0.55436	0.61596
365	0.06245	0.12490	0.18735	0.24981	0.31226	0.37471	0.43716	0.49961	0.56206	0.62451
370	0.06330	0.12662	0.18992	0.25323	0.31653	0.37985	0.44315	0.50646	0.56976	0.63307
375	0.06416	0.12833	0.19248	0.25665	0.32081	0.38498	0.44913	0.51330	0.57746	0.64162
380	0.06501	0.13004	0.19505	0.26008	0.32509	0.39011	0.45512	0.52015	0.58516	0.65018
385	0.06587	0.13175	0.19761	0.26350	0.32937	0.39525	0.46111	0.52699	0.59286	0.65873
390	0.06672	0.13346	0.20018	0.26692	0.33364	0.40038	0.46710	0.53384	0.60056	0.66729
395	0.06758	0.13517	0.20274	0.27034	0.33792	0.40552	0.47309	0.54068	0.60826	0.67584
400	0.06844	0.13688	0.20532	0.27376	0.34220	0.41064	0.47908	0.54752	0.61596	0.68440
405	0.06929	0.13859	0.20789	0.27718	0.34648	0.41577	0.48507	0.55436	0.62366	0.69295
410	0.07015	0.14030	0.21045	0.28060	0.35076	0.42091	0.49106	0.56121	0.63136	0.70151
415	0.07100	0.14201	0.21302	0.28403	0.35504	0.42604	0.49705	0.56805	0.63906	0.71006
420	0.07186	0.14373	0.21559	0.28745	0.35931	0.43118	0.50303	0.57490	0.64676	0.71862
425	0.07271	0.14544	0.21815	0.29087	0.36359	0.43631	0.50902	0.58174	0.65445	0.72717
430	0.07357	0.14715	0.22072	0.29430	0.36787	0.44144	0.51501	0.58859	0.66215	0.73573
435	0.07442	0.14886	0.22328	0.29772	0.37215	0.44658	0.52099	0.59543	0.66985	0.74428
440	0.07528	0.15057	0.22585	0.30114	0.37642	0.45171	0.52698	0.60228	0.67755	0.75284
445	0.07613	0.15228	0.22841	0.30456	0.38070	0.45684	0.53297	0.60912	0.68525	0.76139
450	0.07699	0.15399	0.23098	0.30798	0.38497	0.46197	0.53896	0.61596	0.69295	0.76995

455	0.07785	0.15570	0.23355	0.31140	0.38925	0.46710	0.54495	0.62280	0.70065	0.77850
460	0.07870	0.15741	0.23612	0.31482	0.39353	0.47224	0.55094	0.62965	0.70835	0.78706
465	0.07956	0.15912	0.23868	0.31825	0.39781	0.47737	0.55693	0.63649	0.71605	0.79561
470	0.08041	0.16084	0.24125	0.32167	0.40208	0.48251	0.56292	0.64334	0.72375	0.80417
475	0.08127	0.16255	0.24382	0.32509	0.40636	0.48764	0.56890	0.65018	0.73145	0.81272
480	0.08212	0.16426	0.24638	0.32852	0.41064	0.49277	0.57489	0.65703	0.73915	0.82128
485	0.08298	0.16597	0.24895	0.33194	0.41491	0.49791	0.58088	0.66387	0.74685	0.82983
490	0.08383	0.16768	0.25151	0.33536	0.41919	0.50304	0.58687	0.67072	0.75455	0.83839
495	0.08469	0.16939	0.25408	0.33878	0.42347	0.50817	0.59286	0.67756	0.76225	0.84694
500	0.08555	0.17110	0.25665	0.34220	0.42775	0.51330	0.59885	0.68440	0.76995	0.85550
505	0.08640	0.17281	0.25922	0.34562	0.43203	0.51843	0.60484	0.69124	0.77765	0.86405
510	0.08726	0.17452	0.26178	0.34904	0.43631	0.52357	0.61083	0.69809	0.78535	0.87261
515	0.08811	0.17623	0.26435	0.35247	0.44059	0.52870	0.61682	0.70493	0.79305	0.88116
520	0.08897	0.17795	0.26692	0.35589	0.44486	0.53384	0.62280	0.71178	0.80075	0.88972
525	0.08982	0.17966	0.26948	0.35931	0.44914	0.53897	0.62879	0.71862	0.80844	0.89827
530	0.09068	0.18137	0.27205	0.36274	0.45342	0.54410	0.63478	0.72547	0.81614	0.90683
535	0.09153	0.18308	0.27461	0.36616	0.45769	0.54924	0.64076	0.73231	0.82384	0.91538
540	0.09239	0.18479	0.27718	0.36958	0.46197	0.55437	0.64675	0.73916	0.83154	0.92394
545	0.09324	0.18650	0.27974	0.37300	0.46625	0.55950	0.65274	0.74600	0.83924	0.93249
550	0.09410	0.18821	0.28231	0.37642	0.47052	0.56463	0.65873	0.75284	0.84694	0.94105
555	0.09496	0.18992	0.28488	0.37984	0.47480	0.56976	0.66472	0.75968	0.85464	0.94960
560	0.09581	0.19163	0.28745	0.38326	0.47908	0.57490	0.67071	0.76653	0.86234	0.95816
565	0.09667	0.19334	0.29001	0.38669	0.48336	0.58003	0.67670	0.77337	0.87004	0.96671
570	0.09752	0.19506	0.29258	0.39011	0.48763	0.58517	0.68269	0.78022	0.87774	0.97527
575	0.09838	0.19677	0.29514	0.39353	0.49191	0.59030	0.68867	0.78706	0.88544	0.98382
580	0.09923	0.19848	0.29771	0.39696	0.49619	0.59543	0.69466	0.79391	0.89314	0.99238
585	0.10009	0.20019	0.30027	0.40038	0.50047	0.60057	0.70065	0.80075	0.90084	1.00093
590	0.10094	0.20190	0.30284	0.40380	0.50474	0.60570	0.70664	0.80760	0.90854	1.00949
595	0.10180	0.20361	0.30540	0.40722	0.50902	0.61083	0.71263	0.81444	0.91624	1.01804
600	0.10266	0.20532	0.30798	0.41064	0.51330	0.61596	0.71862	0.82128	0.92394	1.02660

Millim.	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°
605	0.10351	0.20703	0.31055	0.41406	0.51758	0.62109	0.72461	0.82812	0.93164	1.03515
610	0.10437	0.20874	0.31311	0.41748	0.52186	0.62623	0.73060	0.83497	0.93934	1.04371
615	0.10522	0.21045	0.31568	0.42091	0.52614	0.63136	0.73659	0.84181	0.94704	1.05226
620	0.10608	0.21217	0.31825	0.42433	0.53041	0.63650	0.74257	0.84866	0.95474	1.06082
625	0.10693	0.21388	0.32081	0.42775	0.53469	0.64163	0.74856	0.85550	0.96243	1.06937
630	0.10779	0.21559	0.32337	0.43118	0.53897	0.64676	0.75455	0.86235	0.97013	1.07793
635	0.10864	0.21730	0.32594	0.43460	0.54324	0.65190	0.76053	0.86919	0.97783	1.08648
640	0.10950	0.21901	0.32850	0.43802	0.54752	0.65703	0.76652	0.87604	0.98553	1.09504
645	0.11035	0.22072	0.33107	0.44144	0.55180	0.66216	0.77251	0.88288	0.99323	1.10359
650	0.11121	0.22243	0.33364	0.44486	0.55607	0.66729	0.77850	0.88972	1.00093	1.11215
655	0.11207	0.22414	0.33621	0.44828	0.56035	0.67242	0.78449	0.89656	1.00863	1.12070
660	0.11292	0.22585	0.33877	0.45170	0.56463	0.67756	0.79048	0.90341	1.01633	1.12926
665	0.11378	0.22756	0.34134	0.45513	0.56891	0.68269	0.79647	0.91025	1.02403	1.13781
670	0.11463	0.22928	0.34391	0.45855	0.57318	0.68783	0.80246	0.91710	1.03173	1.14637
675	0.11549	0.23099	0.34647	0.46197	0.57746	0.69296	0.80844	0.92394	1.03943	1.15492
680	0.11634	0.23270	0.34904	0.46540	0.58174	0.69809	0.81443	0.93079	1.04713	1.16348
685	0.11720	0.23441	0.35160	0.46882	0.58602	0.70323	0.82042	0.93763	1.05483	1.17203
690	0.11805	0.23612	0.35417	0.47224	0.59029	0.70836	0.82641	0.94448	1.06253	1.18059
695	0.11891	0.23783	0.35673	0.47566	0.59457	0.71349	0.83240	0.95132	1.07023	1.18914
700	0.11977	0.23954	0.35931	0.47908	0.59885	0.71862	0.83839	0.95816	1.07793	1.19770
705	0.12062	0.24125	0.36188	0.48250	0.60313	0.72375	0.84438	0.96500	1.08563	1.20625
710	0.12148	0.24296	0.36444	0.48592	0.60741	0.72889	0.85037	0.97185	1.09333	1.21481
715	0.12233	0.24467	0.36701	0.48935	0.61169	0.73402	0.85636	0.97869	1.10103	1.22336
720	0.12319	0.24639	0.36958	0.49277	0.61596	0.73916	0.86234	0.98554	1.10873	1.23192
725	0.12404	0.24810	0.37214	0.49619	0.62024	0.74429	0.86833	0.99238	1.11642	1.24047
730	0.12490	0.24981	0.37471	0.49962	0.62452	0.74942	0.87432	0.99923	1.12412	1.24903
735	0.12575	0.25152	0.37727	0.50304	0.62880	0.75456	0.88030	1.00607	1.13182	1.25758
740	0.12661	0.25323	0.37984	0.50646	0.63307	0.75969	0.88629	1.01292	1.13952	1.26614
745	0.12746	0.25494	0.38240	0.50988	0.63735	0.76482	0.89228	1.01976	1.14722	1.27469
750	0.12832	0.25665	0.38497	0.51330	0.64162	0.76995	0.89827	1.02660	1.15492	1.28325

755	0.12918	0.25836	0.38754	0.51672	0.64590	0.77508	0.90426	1.03344	1.16262	1.29180
760	0.13003	0.26007	0.39011	0.52014	0.65018	0.78022	0.91025	1.04029	1.17032	1.30036
765	0.13089	0.26178	0.39267	0.52357	0.65446	0.78535	0.91624	1.04713	1.17802	1.30891
770	0.13174	0.26350	0.39524	0.52699	0.65873	0.79049	0.92223	1.05398	1.18572	1.31747
775	0.13260	0.26521	0.39781	0.53041	0.66301	0.79562	0.92821	1.06082	1.19342	1.32602
780	0.13345	0.26692	0.40037	0.53383	0.66729	0.80075	0.93420	1.06767	1.20112	1.33458
785	0.13431	0.26863	0.40294	0.53725	0.67157	0.80589	0.94019	1.07451	1.20882	1.34313
790	0.13516	0.27034	0.40550	0.54067	0.67584	0.81102	0.94618	1.08136	1.21652	1.35169
795	0.13602	0.27205	0.40707	0.54409	0.68012	0.81615	0.95217	1.08820	1.22422	1.36024
800	0.13688	0.27376	0.41064	0.54752	0.68440	0.82128	0.95816	1.09504	1.23192	1.36880
805	0.13773	0.27547	0.41321	0.55094	0.68868	0.82641	0.96415	1.10118	1.23962	1.37735
810	0.13859	0.27718	0.41577	0.55436	0.69296	0.83155	0.97014	1.10873	1.24732	1.38591
815	0.13944	0.27889	0.41834	0.55779	0.69724	0.83668	0.97613	1.11557	1.25502	1.39446
820	0.14030	0.28061	0.42091	0.56121	0.70151	0.84182	0.98211	1.12242	1.26272	1.40302
825	0.14115	0.28232	0.42347	0.56463	0.70579	0.84695	0.98810	1.12926	1.27041	1.41157
830	0.14201	0.28403	0.42604	0.56806	0.71007	0.85208	0.99409	1.13611	1.27811	1.42013
835	0.14286	0.28574	0.42860	0.57148	0.71435	0.85722	1.00007	1.14295	1.28581	1.42868
840	0.14372	0.28745	0.43117	0.57490	0.71862	0.86235	1.00606	1.14980	1.29351	1.43724
845	0.14457	0.28916	0.43373	0.57832	0.72290	0.86748	1.01205	1.15664	1.30121	1.44579
850	0.14543	0.29087	0.43630	0.58174	0.72717	0.87261	1.01804	1.16348	1.30891	1.45435
855	0.14629	0.29258	0.43887	0.58516	0.73145	0.87774	1.02403	1.17032	1.31661	1.46290
860	0.14714	0.29429	0.44144	0.58858	0.73573	0.88288	1.03002	1.17717	1.32431	1.47146
865	0.14800	0.29600	0.44400	0.59201	0.74001	0.88801	1.03601	1.18401	1.33201	1.48001
870	0.14885	0.29772	0.44657	0.59543	0.74428	0.89315	1.04200	1.19086	1.33971	1.48857
875	0.14971	0.29943	0.44914	0.59885	0.74856	0.89828	1.04798	1.19770	1.34741	1.49712
880	0.15056	0.30114	0.45170	0.60228	0.75284	0.90341	1.05397	1.20455	1.35511	1.50568
885	0.15142	0.30285	0.45427	0.60570	0.75712	0.90855	1.05996	1.21139	1.36281	1.51423
890	0.15227	0.30456	0.45683	0.60912	0.76139	0.91368	1.06595	1.21824	1.37051	1.52279
895	0.15313	0.30627	0.45940	0.61354	0.76567	0.91881	1.07194	1.22508	1.37821	1.53134
900	0.15399	0.30798	0.46197	0.61596	0.76995	0.92394	1.07793	1.23192	1.38591	1.53990

Millim.	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°
905	0.15484	0.30969	0.46454	0.61938	0.77423	0.92907	1.08392	1.23876	1.39361	1.54845
910	0.15570	0.31140	0.46710	0.62280	0.77851	0.93421	1.08991	1.24561	1.40131	1.55701
915	0.15655	0.31311	0.46967	0.62623	0.78279	0.93934	1.09490	1.25245	1.40901	1.56556
920	0.15741	0.31483	0.47224	0.62965	0.78706	0.94448	1.10188	1.25930	1.41671	1.57412
925	0.15826	0.31654	0.47480	0.63307	0.79134	0.94961	1.10787	1.26614	1.42440	1.58267
930	0.15912	0.31825	0.47737	0.63650	0.79562	0.95474	1.11386	1.27299	1.43210	1.59123
935	0.15997	0.31996	0.47993	0.63992	0.79989	0.95988	1.11984	1.27983	1.43980	1.59978
940	0.16083	0.32167	0.48250	0.64334	0.80417	0.96501	1.12583	1.28668	1.44750	1.60834
945	0.16168	0.32338	0.48506	0.64676	0.80845	0.97014	1.13182	1.29352	1.45520	1.61689
950	0.16254	0.32509	0.48763	0.65018	0.81273	0.97527	1.13781	1.30036	1.46290	1.62545
955	0.16339	0.32680	0.49020	0.65360	0.81701	0.98040	1.14380	1.30720	1.47060	1.63400
960	0.16425	0.32851	0.49277	0.65708	0.82129	0.98554	1.14979	1.31405	1.47830	1.64256
965	0.16510	0.33022	0.49533	0.66045	0.82557	0.99067	1.15578	1.32089	1.48600	1.65111
970	0.16596	0.33193	0.49790	0.66387	0.82984	0.99581	1.16177	1.32774	1.49370	1.65967
975	0.16681	0.33364	0.50047	0.66729	0.83412	1.00094	1.16775	1.33458	1.50140	1.66822
980	0.16767	0.33535	0.50303	0.67072	0.83840	1.00607	1.17374	1.34143	1.50910	1.67678
985	0.16852	0.33706	0.50560	0.67414	0.84268	1.01121	1.17973	1.34827	1.51680	1.68533
990	0.16938	0.33877	0.50816	0.67756	0.84695	1.01634	1.18572	1.35512	1.52450	1.69389
995	0.17023	0.34048	0.51073	0.68098	0.85123	1.02147	1.19171	1.36196	1.53220	1.70244
1000	0.17110	0.34220	0.51330	0.68440	0.85550	1.02660	1.19770	1.36880	1.53990	1.71100

V.

Tafel der specifischen Gewichte und Volumenzusammensetzung der Gase.

Nr.	Namen der Gase.	Formel.	Volumina der Bestandtheile in 1 Volumen Gas.	Specif. Gewicht.
1	Acetylchlorid . .	$C_2 H_3 Cl$	$1 \text{ Vol. C} + 1\frac{1}{2} \text{ Vol. H} + \frac{1}{2} \text{ Vol. Cl}$	2.15965
2	Aethyl	$C_2 H_5$	$2 \text{ Vol. C} + 5 \text{ Vol. H}$	2.00477
3	Ammoniak . . .	$H_3 N$	$\frac{1}{2} \text{ Vol. N} + 1\frac{1}{2} \text{ Vol. H}$	0.58957
4	Antimon . . .	Sb		17.82796
5	Antimonwasserstoff	$H_3 Sb$	$\frac{1}{4} \text{ Vol. Sb} + 1\frac{1}{2} \text{ Vol. H}$	4.56090
6	Arsenik	As		10.36510
7	Arsenikwasserstoff	$H_3 As$	$\frac{1}{4} \text{ Vol. As} + 1\frac{1}{2} \text{ Vol. H}$	2.69518
8	Bor	Bo		1.50639
9	Borchlorid . . .	$Bo Cl_3$	$\frac{1}{4} \text{ Vol. Bo} + 1\frac{1}{2} \text{ Vol. Cl}$	4.05620
10	Borfluorid . . .	$Bo Fl_3$	$\frac{1}{4} \text{ Vol. Bo} + 1\frac{1}{2} \text{ Vol. Fl}$	2.36669
11	Brom	Br		5.41085
12	Bromwasserstoff .	$H Br$	$\frac{1}{2} \text{ Vol. Br} + \frac{1}{2} \text{ Vol. H}$	2.74006
13	Chlor	Cl		2.45307
14	Chlorkohlenoxyd	$C Cl O$	$\frac{1}{2} \text{ Vol. C} + \frac{1}{2} \text{ Vol. O} + 1 \text{ Vol. Cl}$	3.42048
15	Chlorwasserstoff	$H Cl$	$\frac{1}{2} \text{ Vol. Cl} + \frac{1}{2} \text{ Vol. H}$	1.26117
16	Cyan	$C_2 N$	$1 \text{ Vol. C} + 1 \text{ Vol. N}$	1.80055
17	Cyanchlorür . .	$C_2 N Cl$	$\frac{1}{2} \text{ Vol. C} + \frac{1}{2} \text{ Vol. N} + \frac{1}{2} \text{ Vol. Cl}$	2.12681
18	Ditetryl	$C_8 H_8$	$2 \text{ Vol. C} + 4 \text{ Vol. H}$	1.93550
19	Elayl	$C_4 H_4$	$1 \text{ Vol. C} + 2 \text{ Vol. H}$	0.96775
20	Fluor	Fl		1.32673
21	Fluorwasserstoff	$H Fl$	$\frac{1}{2} \text{ Vol. H} + \frac{1}{2} \text{ Vol. Fl}$	0.69800
22	Grubengas . . .	$C_2 H_4$	$\frac{1}{2} \text{ Vol. C} + 2 \text{ Vol. H}$	0.55314
23	Jod	I		8.78269
24	Jodwasserstoff .	$H I$	$\frac{1}{2} \text{ Vol. I} + \frac{1}{2} \text{ Vol. H}$	4.42598
25	Kiesel	Si		2.94369
26	Kieselfluorid . .	$Si Fl_3$	$\frac{1}{3} \text{ Vol. Si} + 2 \text{ Vol. Fl}$	3.63469

Nr.	Namen der Gase.	Formel.	Volumina der Bestandtheile in 1 Volumen Gas.	Specif. Gewicht.
27	Kohle	C		0.82921
28	Kohlenoxyd . . .	CO	$\frac{1}{2}$ Vol. C + $\frac{1}{2}$ Vol. O	0.96741
29	Kohlensäure . . .	CO ₂	$\frac{1}{2}$ Vol. C + 1 Vol. O	1.52021
30	Methyl	C ₂ H ₃	1 Vol. C + 3 Vol. H	1.03702
31	Methyloxyd . . .	C ₂ H ₃ O	1 Vol. C + 3 Vol. H + $\frac{1}{2}$ Vol. O	1.58982
32	Methylchlorür . .	C ₂ H ₃ Cl	$\frac{1}{2}$ Vol. C + $1\frac{1}{2}$ Vol. H + $\frac{1}{2}$ Vol. Cl	1.74504
33	Phosphor	Ph		4.28424
34	Phosphorwasserstoff	H ₃ Ph	$\frac{1}{4}$ Vol. Ph + $1\frac{1}{2}$ Vol. H	1.17496
35	Sauerstoff	O		1.10561
36	Schwefel	S		6.63366
37	Schwefelige Säure	SO ₂	$\frac{1}{6}$ Vol. S + 1 Vol. O	2.21122
38	Schwefelwasserstoff	SH	$\frac{1}{6}$ Vol. S + 1 Vol. H	1.17488
39	Selen	Se		5.43076
40	Selenwasserstoff	HSe	$\frac{1}{2}$ Vol. Se + 1 Vol. H	2.78465
41	Stickstoff	N		0.97134
42	Stickstoffoxyd . .	NO ₂	$\frac{1}{2}$ Vol. N + $\frac{1}{2}$ Vol. O	1.03847
43	Stickstoffoxydul . .	NO	1 Vol. N + $\frac{1}{2}$ Vol. O	1.52414
44	Tellur	Te		8.91674
45	Tellurwasserstoff	HTe	$\frac{1}{2}$ Vol. Te + 1 Vol. H	4.52764
46	Wasserdampf . . .	HO	$\frac{1}{2}$ Vol. O + 1 Vol. H	0.62207
47	Wasserstoff	H		0.06927
48	Atmosphär. Luft		0.2096 O + 0.7904 N	1.00000

Tabelle zur Reduction von Wasserdruck auf Quecksilberdruck.

Wasser- druck in Mm.	Queck- silberdruck in Mm.	Wasser- druck in Mm.	Queck- silberdruck in Mm.	Wasser- druck in Mm.	Queck- silberdruck in Mm.
1	0.07	41	3.03	81	5.98
2	0.15	42	3.10	82	6.05
3	0.22	43	3.17	83	6.13
4	0.30	44	3.25	84	6.20
5	0.37	45	3.32	85	6.27
6	0.44	46	3.39	86	6.35
7	0.52	47	3.47	87	6.42
8	0.59	48	3.54	88	6.49
9	0.66	49	3.62	89	6.57
10	0.74	50	3.69	90	6.64
11	0.81	51	3.76	91	6.72
12	0.89	52	3.84	92	6.79
13	0.96	53	3.91	93	6.86
14	1.03	54	3.99	94	6.94
15	1.12	55	4.06	95	7.01
16	1.18	56	4.13	96	7.08
17	1.26	57	4.21	97	7.16
18	1.33	58	4.28	98	7.23
19	1.40	59	4.35	99	7.31
20	1.48	60	4.43	100	7.38
21	1.55	61	4.50	200	14.76
22	1.62	62	4.58	300	22.14
23	1.70	63	4.65	400	29.52
24	1.77	64	4.72	500	36.90
25	1.84	65	4.80	600	44.28
26	1.92	66	4.87	700	51.66
27	1.98	67	4.94	800	59.04
28	2.07	68	5.02	900	66.42
29	2.14	69	5.09	1000	73.80
30	2.21	70	5.17		
31	2.29	71	5.24		
32	2.36	72	5.31		
33	2.44	73	5.39		
34	2.51	74	5.46		
35	2.58	75	5.54		
36	2.66	76	5.61		
37	2.73	77	5.68		
38	2.80	78	5.76		
39	2.88	79	5.83		
40	2.95	80	5.90		

VI. Tafel der Absorptionscoëfficienten

°C.	Stickstoff		Wasserstoff		Sauerstoff	
	in Wasser.	in Alkohol.	in Wasser.	in Alkohol.	in Wasser.	in Alkohol.
0	0.02035	0.12634	0.01930	0.06925	0.04114	0.28397
1	0.01981	0.12593	0.01930	0.06910	0.04007	0.28397
2	0.01932	0.12553	0.01930	0.06896	0.03907	0.28397
3	0.01884	0.12514	0.01930	0.06881	0.03810	0.28397
4	0.01838	0.12476	0.01930	0.06867	0.03717	0.28397
5	0.01794	0.12440	0.01930	0.06853	0.03628	0.28397
6	0.01752	0.12405	0.01930	0.06839	0.03544	0.28397
7	0.01713	0.12371	0.01930	0.06826	0.03465	0.28397
8	0.01675	0.12338	0.01930	0.06813	0.03389	0.28397
9	0.01640	0.12306	0.01930	0.06799	0.03317	0.28397
10	0.01607	0.12276	0.01930	0.06786	0.03250	0.28397
11	0.01577	0.12247	0.01930	0.06774	0.03189	0.28397
12	0.01549	0.12219	0.01930	0.06761	0.03133	0.28397
13	0.01523	0.12192	0.01930	0.06749	0.03082	0.28397
14	0.01500	0.12166	0.01930	0.06737	0.03034	0.28397
15	0.01478	0.12142	0.01930	0.06725	0.02989	0.28397
16	0.01458	0.12119	0.01930	0.06713	0.02949	0.28397
17	0.01441	0.12097	0.01930	0.06701	0.02914	0.28397
18	0.01426	0.12076	0.01930	0.06690	0.02884	0.28397
19	0.01413	0.12056	0.01930	0.06679	0.02858	0.28397
20	0.01403	0.12038	0.01930	0.06668	0.02838	0.28397
21		0.12021	0.01930	0.06657		
22		0.12005	0.01930	0.06646		
23		0.11990	0.01930	0.06636		
24		0.11976	0.01930	0.06626		

verschiedener Gase für Wasser und Alkohol.

Kohlensäure		Kohlenoxydgas		Stickoxydul		Stickoxyd
in Wasser.	in Alkohol.	in Wasser.	in Alkohol.	in Wasser.	in Alkohol.	in Alkohol.
1.7967	4.3295	0.03287	0.20443	1.3052	4.1780	0.31606
1.7207	4.2368	0.03207	0.20443	1.2605	4.1088	0.31262
1.6481	4.1466	0.03131	0.20443	1.2172	4.0409	0.30928
1.5787	4.0589	0.03057	0.20443	1.1752	3.9741	0.30604
1.5126	3.9736	0.02987	0.20443	1.1346	3.9085	0.30290
1.4497	3.8908	0.02920	0.20443	1.0954	3.8442	0.29985
1.3901	3.8105	0.02857	0.20443	1.0575	3.7811	0.29690
1.3339	3.7327	0.02796	0.20443	1.0210	3.7192	0.29405
1.2809	3.6573	0.02739	0.20443	0.9858	3.6585	0.29130
1.2311	3.5844	0.02686	0.20443	0.9520	3.5990	0.28865
1.1847	3.5140	0.02635	0.20443	0.9196	3.5408	0.28609
1.1416	3.4461	0.02588	0.20443	0.8885	3.4838	0.28363
1.1018	3.3807	0.02544	0.20443	0.8588	3.4279	0.28127
1.0653	3.3178	0.02504	0.20443	0.8304	3.3734	0.27901
1.0321	3.2573	0.02466	0.20443	0.8034	3.3200	0.27685
1.0020	3.1993	0.02432	0.20443	0.7778	3.2678	0.27478
0.9753	3.1438	0.02402	0.20443	0.7535	3.2169	0.27281
0.9519	3.0908	0.02374	0.20443	0.7306	3.1672	0.27094
0.9318	3.0402	0.02350	0.20443	0.7090	3.1187	0.26917
0.9150	2.9921	0.02329	0.20443	0.6888	3.0714	0.26750
0.9014	2.9465	0.02312	0.20443	0.6700	3.0253	0.26592
	2.9034			0.6525	2.9805	0.26444
	2.8628			0.6364	2.9368	0.26306
	2.8247			0.6216	2.8944	0.26178
	2.7890			0.6082	2.8532	0.26060

°C.	Grubengas		Oelbildendes Gas		Aethyl	Methyl
	in Wasser.	in Alkohol.	in Wasser.	in Alkohol.	in Wasser.	in Wasser.
0	0.05449	0.52259	0.2563	3.5950	0.03147	0.0871
1	0.05332	0.51973	0.2473	3.5379	0.03040	0.0838
2	0.05217	0.51691	0.2388	3.4823	0.02947	0.0807
3	0.05104	0.51412	0.2306	3.4280	0.02856	0.0777
4	0.04993	0.51135	0.2227	3.3750	0.02770	0.0748
5	0.04885	0.50861	0.2153	3.3234	0.02689	0.0720
6	0.04778	0.50590	0.2082	3.2732	0.02613	0.0693
7	0.04674	0.50322	0.2018	3.2243	0.02541	0.0668
8	0.04571	0.50057	0.1952	3.1768	0.02474	0.0644
9	0.04470	0.49795	0.1893	3.1307	0.02412	0.0621
10	0.04372	0.49535	0.1837	3.0859	0.02355	0.0599
11	0.04275	0.49278	0.1786	3.0425	0.02303	0.0578
12	0.04180	0.49024	0.1737	3.0005	0.02257	0.0559
13	0.04088	0.48773	0.1693	2.9598	0.02216	0.0541
14	0.03997	0.48525	0.1652	2.9205	0.02179	0.0524
15	0.03909	0.48280	0.1615	2.8825	0.02147	0.0508
16	0.03823	0.48037	0.1583	2.8459	0.02121	0.0493
17	0.03739	0.47798	0.1553	2.8107	0.02100	0.0480
18	0.03657	0.47561	0.1528	2.7768	0.02084	0.0468
19	0.03577	0.47327	0.1506	2.7443	0.02073	0.0457
20	0.03499	0.47096	0.1488	2.7131	0.02065	0.0447
21		0.46867		2.6833		
22		0.46642		2.6549		
23		0.46419		2.6279		
24		0.46199		2.6022		

Schwefelwasserstoff		Schwefelige Säure		Ammoniak	Atmosphä- rische Luft
in Wasser.	in Alkohol.	in Wasser.	in Alkohol.	in Wasser.	in Wasser.
4.3706	17.891	68.861	328.62	1049.6	0.02471
4.2874	17.242	67.003	311.98	1020.8	0.02406
4.2053	16.606	65.169	295.97	993.3	0.02345
4.1243	15.983	63.360	280.58	967.0	0.02287
4.0442	15.373	61.576	265.81	941.9	0.02237
3.9652	14.776	59.816	251.67	917.9	0.02179
3.8872	14.193	58.080	238.16	895.0	0.02128
3.8103	13.623	56.369	225.25	873.1	0.02080
3.7345	13.066	54.683	212.98	852.1	0.02034
3.6596	12.523	53.021	201.33	832.0	0.01992
3.5858	11.992	51.383	190.31	812.8	0.01953
3.5132	11.475	49.770	179.91	794.3	0.01916
3.4415	10.971	48.182	170.13	776.6	0.01882
3.3708	10.480	46.618	160.98	759.6	0.01851
3.3012	10.003	45.079	152.45	743.1	0.01822
3.2326	9.539	43.564	144.55	727.2	0.01795
3.1651	9.088	42.073	137.27	711.8	0.01771
3.0986	8.650	40.608	130.61	696.9	0.01750
3.0331	8.225	39.165	124.58	682.3	0.01732
2.9687	7.814	37.749	119.17	668.0	0.01717
2.9053	7.415	36.216	114.48	654.0	0.01704
2.8430	7.030	34.986	110.22	640.2	
2.7817	6.659	33.910	106.68	626.5	
2.7215	6.300	32.847	103.77	613.0	
2.6623	5.955	31.800	101.47	599.5	

VII. Tafel zur Berechnung des Volumengehaltes

Volumen der atmosphärischen Luft.	100.00.	200.00.	300.00.
Darin vorhandenes Stickstoffvolumen	79.04	158.08	237.12
Darin vorhandenes Sauerstoffvolumen	20.96	41.92	62.88

VIII. Tafel zur Berechnung des Gewichtes

Namen der Gase.	Formel.	1000 CC.	2000 CC.	3000 CC.
Acetylchlorid	$C_4 H_3 Cl$	^g 2.79386	^g 5.58772	^g 8.38158
Aethyl	$C_4 H_5$	2.59349	5.18698	7.78047
Ammoniak	$H_3 N$	0.76271	1.52542	2.28813
Antimon	Sb	23.06332	46.12664	69.18996
Antimonwasserstoff . .	$H_3 Sb$	5.90026	11.80052	17.70078
Arsenik	As	13.40892	26.81784	40.22676
Arsenikwasserstoff . .	$H_3 As$	3.48665	6.97330	10.45995
Bor	Bo	1.94876	3.89752	5.84628
Borchlorid	$Bo Cl_3$	5.24735	10.49470	15.74205
Borfluorid	$Bo Fl_3$	3.06166	6.12332	9.18498
Brom	Br	6.99990	13.99980	20.99970
Bromwasserstoff . . .	$H Br$	3.54471	7.08942	10.63413
Chlor	Cl	3.17344	6.34688	9.52032
Chlorkohlenoxyd . . .	$C Cl O$	4.42494	8.84988	13.27482
Chlorwasserstoff . . .	$H Cl$	1.63153	3.26306	4.89459
Cyan	$C_2 N$	2.32930	4.65860	6.98790
Cyanchlorür	$C_2 N Cl$	2.75137	5.50274	8.25411
Ditetryl	$C_8 H_8$	2.50388	5.00776	7.51164
Elayl	$C_4 H_4$	1.25194	2.50388	3.75582
Fluor	Fl	1.71634	3.43268	5.14902
Fluorwasserstoff . . .	$H Fl$	0.90298	1.80596	2.70894

der atmosphärischen Luft an Stickstoff und Sauerstoff.

400.00.	500.00.	600.00.	700.00.	800.00.	900.00.
316.16	395.20	474.24	553.28	632.32	711.36
83.84	104.80	125.76	146.72	167.68	188.64

von Gasen aus dem Volumen derselben.

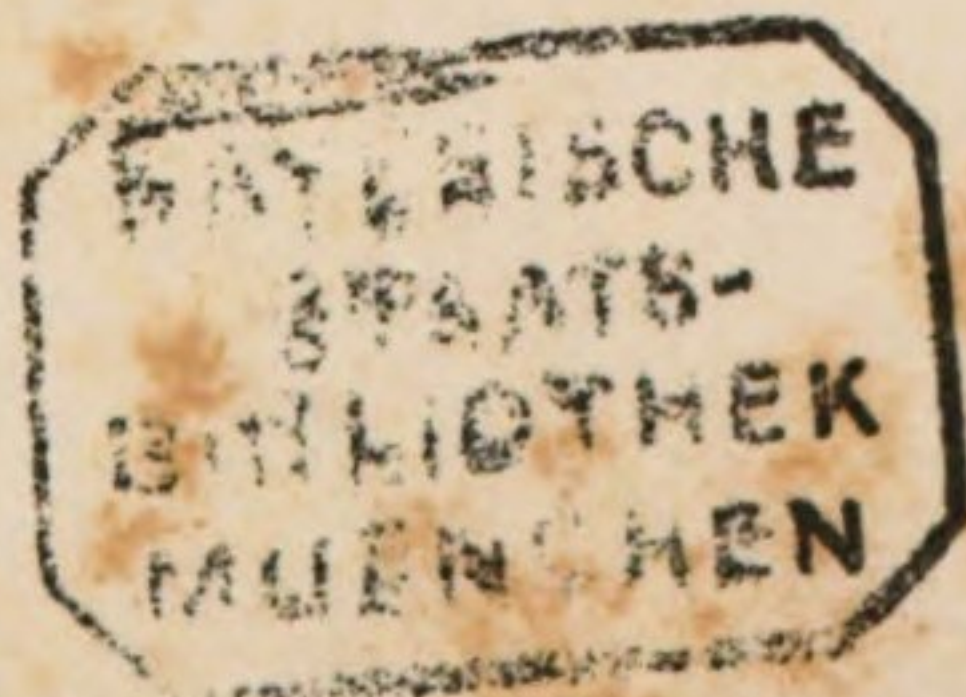
4000 CC.	5000 CC.	6000 CC.	7000 CC.	8000 CC.	9000 CC.
^g 11.17544	^g 13.96930	^g 16.76316	^g 19.55702	^g 22.35088	^g 25.14474
10.37396	12.96745	15.56094	18.15443	20.74792	23.34141
3.05084	3.81355	4.57626	5.33897	6.10168	6.86439
92.25328	115.31660	138.37992	161.44324	184.50656	207.56992
23.60104	29.50130	35.40156	41.30182	47.20208	53.10234
53.63568	67.04460	80.45352	93.86244	107.27136	120.68028
13.94660	17.43325	20.91990	24.40655	27.89320	31.37985
7.79504	9.74380	11.69256	13.64132	15.59008	17.53884
20.98940	26.23675	31.48410	36.73145	41.97880	47.22615
12.24664	15.30830	18.36996	21.43162	24.49328	27.55494
27.99960	34.99950	41.99940	48.99930	55.99920	62.99910
14.17884	17.72355	21.26826	24.81297	28.35768	31.90239
12.69376	15.86720	19.04064	22.21408	25.38752	28.56096
17.69976	22.12470	26.54964	30.97458	35.39952	39.82446
6.52612	8.15765	9.78918	11.42071	13.05224	14.68377
9.31720	11.64650	13.97580	16.30510	18.63440	20.96370
11.00548	13.75685	16.50822	19.25959	22.01096	24.76233
10.01552	12.51940	15.02328	17.52716	20.03104	22.53492
5.00776	6.25970	7.51164	8.76356	10.01552	11.26746
6.86536	8.58170	10.29804	12.01438	13.73072	15.44706
3.61192	4.51490	5.41788	6.32086	7.22384	8.12682

Namen der Gase.	Formel.	1000 CC.	2000 CC.	3000 CC.
Grubengas	C_2H_4	^g 0.71558	^g 1.43116	^g 2.14674
Jod	I	11.36180	22.72360	34.08540
Jodwasserstoff	HI	5.72573	11.45146	17.17719
Kiesel	Si	3.80814	7.61628	11.42442
Kieselfluorid	SiF_3	4.70206	9.40412	14.10618
Kohle	C	1.07272	2.14544	3.21816
Kohlenoxyd	CO	1.25150	2.50300	3.75450
Kohlensäure	CO_2	1.96664	3.93328	5.89992
Methyl	C_2H_3	1.34152	2.68304	4.02456
Methyloxyd	C_2H_3O	2.05669	4.11338	6.17007
Methylchlorür	C_2H_3Cl	2.25749	4.51498	6.77247
Phosphor	Ph	5.54230	11.08460	16.62690
Phosphorwasserstoff	H_3Ph	1.52000	2.04000	4.56000
Sauerstoff	O	1.43028	2.86056	4.29084
Schwefel	S	17.16336	34.32672	51.49008
Schwefelige Säure	SO_2	2.86056	5.72112	8.58168
Schwefelwasserstoff	HS	1.51991	3.03982	4.55973
Selen	Se	7.02556	14.05112	21.07668
Selenwasserstoff	HSe	3.60239	7.20478	10.80717
Stickstoff	N	1.25658	2.51316	3.76974
Stickstoffoxyd	NO_2	1.34343	2.68686	4.03029
Stickstoffoxydul	NO	1.97172	3.94344	5.91516
Tellur	Te	11.53525	23.07050	34.60575
Tellurwasserstoff	HTe	5.85723	11.71446	17.57169
Wasserdampf	HO	0.80475	1.60950	2.41425
Wasserstoff	H	0.08961	0.17922	0.26883
Atmosphärische Luft		1.29366	2.58732	3.88098

4000 CC.	5000 CC.	6000 CC.	7000 CC.	8000 CC.	9000 CC.
^g 2.86232	^g 3.57790	^g 4.29348	^g 5.00906	^g 5.72464	^g 6.44022
45.44720	56.80900	68.17080	79.53260	90.89440	102.25620
22.90292	28.62865	34.35438	40.08011	45.80584	51.53157
15.23256	19.04070	22.84884	26.65698	30.46512	34.27326
18.80824	23.51030	28.21236	32.91442	37.61648	42.31854
4.29088	5.36360	6.43632	7.50904	8.58176	9.65448
5.00600	6.25750	7.50900	8.76050	10.01200	11.26350
7.86656	9.83320	11.79984	13.76648	15.73312	17.69976
5.36608	6.70760	8.04912	9.39064	10.73216	12.07368
8.22676	10.28345	12.34014	14.39683	16.45352	18.51021
9.02996	11.28745	13.54494	15.80243	18.05992	20.31741
22.16920	27.71150	33.25380	38.79610	44.33840	49.88070
6.08000	7.60000	9.12000	10.64000	12.16000	13.68000
5.72112	7.15140	8.58168	10.01196	11.44224	12.87252
68.65344	85.81680	102.98016	120.14352	137.30688	154.47024
11.44224	14.30280	17.16336	20.02392	22.88448	25.74504
6.07964	7.59955	9.11946	10.63937	12.15928	13.67919
28.10224	35.12780	42.15336	49.17892	56.20448	63.23004
14.40956	18.01195	21.61434	25.21673	28.81912	32.42151
5.02632	6.28290	7.53948	8.79606	10.05264	11.30922
5.37372	6.71615	8.06058	9.40301	10.74744	12.09087
7.88688	9.85860	11.83032	13.80204	15.77376	17.74548
46.14100	57.67625	69.21150	80.74675	92.28200	103.81725
23.42892	29.28615	35.14338	41.00061	46.85784	52.71507
3.21900	4.02375	4.82850	5.63325	6.43800	7.24275
0.35844	0.44805	0.53766	0.62727	0.71688	0.80649
5.17464	6.46830	7.76196	9.05562	10.34928	11.64294

Verbesserungen.

- Seite 42 Zeile 2 von unten statt von Dr. Carius aus Munke's
lies nach Regnault's etc.
- „ 43 Zeile 6 von unten statt 00366 lies 0.00366.
- „ 76 „ 2 „ „ „ abziehen lies zuzuzählen.
- „ 76 „ 3 „ „ „ ist „von“ zu streichen.
- „ 77 „ 2 „ „ oben ist „von“ zu streichen.
- „ 77 „ 3 „ „ „ statt abziehen lies zuzuzählen.
- „ 104 „ 12 „ unten „ P lies P_1 .
- „ 107 „ 5 „ „ „ 17.2712 lies 17.2731.
- „ 107 „ 6 „ „ „ 0.0002 lies 0.0021.
- „ 117 „ 13 „ oben „ 2.089 lies 2.090.
- „ 123 „ 2 „ unten fällt $M = 193.75$ hinweg.
- „ 127 „ 13 „ „ „ statt Kohlenwasserstoffdampf lies Koh-
lenstoffdampf.
- „ 128 von Zeile 9 bis Zeile 15 von oben statt Ausströmungs-
geschwindigkeit lies Ausströmungszeit.
- „ 130 Zeile 7 von unten statt $\beta\beta_1$ lies $\beta\beta_2$.
- „ 142 „ 4 „ oben „ h_1 lies h .
- „ 143 und 144 ist stets V' statt v' zu setzen.
- „ 167 Zeile 11 von unten statt V_1 lies V_0 .
- „ 169 „ 9 „ oben „ 3.8861 | 3.8944 lies 2.8861 | 2.8944.
- „ 180 „ 1 „ „ „ fällt lies füllt.
- „ 186 und 188 Zeile 3 von oben statt 1^{mm} Druck lies 1^m Druck.
- „ 187 Zeile 13 von unten statt u lies u_1 .
- „ 193 „ 4 „ oben „ es lies der Wasserstoff.
- „ 193 „ 6 „ „ „ Wasservolumen lies Wasserstoff-
volumen.
- „ 193 Zeile 11 von unten statt $\left(1 + \frac{\alpha_1 h_1}{V}\right)$ lies $\left(1 + \frac{\alpha_1 h_1}{V_1}\right)$.
- „ 197 „ 5 „ „ „ ist für den Factor A zu setzen $(\alpha + \beta)$.
- „ 203 „ 9 „ „ „ statt V und V_1 lies $\frac{x}{x+y}$ und $\frac{y}{x+y}$.
- „ 232 „ 11 „ „ „ „ Wasserstoff lies Sauerstoff.
- „ 234 „ 1 „ „ oben „ $(1 + \gamma)$ lies $(1 - \gamma)$.



Bunsen, Robert Wilhelm,

Gasometrische Methoden

Braunschweig 1857

Chem. 50 v

urn:nbn:de:bvb:12-bsb10072131-0